Geodetisch-Historische Monografieën Nr. 9

Ontwikkeling van het vakgebied sinds de Franse tijd

De opkomst van de Geo-informatiewetenschappen en de Aardobservatie in de periode 1970-2010

Een terugblik op de loopbaan van een landmeter die nooit land mat

Tweede editie

Martien Molenaar

Stichting De Hollandse Cirkel
voor de Geschiedenis der Geodesie

Geodetisch-Historische Monografieën Nr. 9

Ontwikkeling van het vakgebied sinds de Franse tijd

De opkomst van de Geo-informatiewetenschappen en de Aardobservatie in de periode 1970-2010

Een terugblik op de loopbaan van een landmeter die nooit land mat

Tweede editie

Martien Molenaar

Colophon

ISBN: 978-90-830623-7-2
NUR-code: 600

© 2024 Martien Molenaar

Uitgever: Stichting De Hollandse Cirkel
Postbus 9046
7300 GH Apeldoorn
www.hollandsecirkel.nl

Deze uitgave is uitsluitend beschikbaar als digitaal bestand.
https://hollandsecirkel.nl/documentatie/monografieen/

Informatica gaat net zomin over computers als astronomie over telescopen

Edsger W. Dijkstra, 1930-2002, informaticus

Voor Juul

VOORWOORD

Mijn grootouders hadden wel van computers gehoord, maar het was een mystieke wereld die ver van hen afstond. In de tijd van mijn ouders drongen computers steeds meer door in de samenleving, maar dat waren grote machines die door grote organisaties werden gebruikt voor complexe berekeningen en administratieve processen. De definitieve doorbraak van de ICT was tijdens mijn werkzame leven, mijn generatie moest haar weg zoeken in deze nieuwe wereld. Mijn kinderen maakten mee dat ICT-faciliteiten gemeengoed werden in de volle breedte van de samenleving. Mijn kleinkinderen weten niet anders dan dat die middelen onderdeel zijn van hun dagelijks leven.

Deze monografie gaat over de tussenfase waarin mijn generatie haar weg moest zoeken in deze zich snel ontwikkelende nieuwe wereld. Eerst zagen we computers vooral als “rekentuig”. Die versnelden en verlichtten onze werkzaamheden, omdat de vroegere trage omslachtige berekeningen op hand- en elektrische rekenmachines nu door de computer werden overgenomen. Maar langzamerhand begrepen we dat de invloed van deze machines veel verder ging. Er ontwikkelden zich nieuwe werkprocessen die leidden tot een informatisering van onze samenleving en ons anders deden kijken naar de wereld om ons heen.

Mijn eigen loopbaan doorliep dat tijdsgewricht. Die begon nog in de tijd van het oude analoge en vaak wat ambachtelijke werk en eindigde in een tijd dat onze digitale belevingswereld vorm had gekregen. Die begon nog in een tijd waarbij ons ruimtelijk denken sterk was verbonden met de traditionele kaart en die eindigde in een tijd waarin de Geo-ICT onze ruimtebeleving voor een zeer belangrijk deel bepaalde. Ik begon mijn loopbaan nog met de vraag hoe men kwaliteitseisen aan geodetische projecten kon stellen en hoe metingen daaraan getoetst konden worden. Maar al snel daarna werd de centrale vraag in mijn werk wat de basisstructuren waren van de geo-informatie, die met moderne ICT-middelen werd geproduceerd. Daarop volgde de vraag hoe deze basisstructuren een rol speelden bij de interpretatie van remote-sensingbeelden. Gaandeweg beseften we dat we de traditionele ruimtebeleving via de kaart verlieten, en zo kwam de vraag op in hoeverre deze nieuwe middelen ons zicht op onze leefwereld veranderden.

In de laatste fase van mijn werkzame leven was ik rector van het ITC in Enschede. Dat Instituut kwam in een kritieke fase van haar bestaan. Zowel de snelle ontwikkelingen in het academisch domein als het snel veranderende internationale werkveld, noodzaakte tot ingrijpende veranderingen. Dat betrof de status als academisch instituut en als instelling voor internationaal onderwijs. Vanwege mijn wetenschappelijk-disciplinaire achtergrond en mijn ervaring als hoogleraar aan een universiteit, Wageningen in mijn geval, werd ik gevraagd om het ITC door deze fase heen te loodsen.

Deze monografie is geschreven vanuit mijn eigen beleving van deze ontwikkelingen, maar die was natuurlijk ingebed in een veel bredere ontwikkeling. Met de groei van de Geo-ICT ontstond een nieuwe technisch-wetenschappelijke discipline, en daarmee ontstond een nieuwe disciplinaire gemeenschap met invloeden uit vele richtingen. Het schrijven van deze monografie was een soort ontdekkingsreis in mijn eigen ontwikkelingsgeschiedenis, waarbij achteraf een aantal zaken op hun plaats vielen en hun betekenis in de context van dit totaalbeeld duidelijk werd. Daarin lag voor mij het belang van het schrijven van dit verhaal, wellicht is het een “coming-of-age” verhaal geworden.

Maar minstens zo belangrijk was het feit, dat Juul, mijn vrouw dit schrijfproces met mij meebeleefde. Tijdens het belangrijkste deel van deze geschiedenis stond zij naast me. Maar het was voor haar niet altijd goed mogelijk om te doorzien waar ik nu mee bezig was, en ik was toen ook niet goed in staat dat helder te vertellen. Het schrijven en daarmee het gezamenlijk herbeleven, heeft dit toenmalige onvermogen in belangrijke mate verholpen.

Het is altijd fijn om bij het schrijven van een tekst als deze steun te vinden bij vrienden. Sjaak Beerens, Jaap Besemer, Ton Heddema en Erna Leurink dank ik voor het doorlezen van stukken van de tekst en voor hun bemoedigende commentaren. Ook dank ik Robert Kroon en Hans Opschoor voor hun aanbevelingen na het doorwerken van de hele tekst. Speciale dank ben ik verschuldigd aan mijn Wageningse vriend en vroegere collega Janhein Loedeman, voor het feit dat hij de eindredactie van de hele tekst op zich heeft genomen. Zijn vele aanbevelingen over taalgebruik, verwoording en de opbouw van het betoog hebben aanzienlijk bijgedragen tot het verbeteren van mijn oorspronkelijke tekst.

Ik wens de lezer veel leesplezier en wellicht herkenning.

Martien Molenaar

Enschede, december 2024.

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD v

INLEIDING 1

DEEL I De vorming van een geodeet 5

1 Het beroepsbeeld in de opleiding 5

2 Kennismaking met het gedachtengoed van de Delftse School 7

2.1 “Ware waarde” bestaat niet 7

2.2* Ideeën over de kwaliteit van geodetische gegevens 8

3 De kracht van de aanpak van de Delftse School 12

3.1. Het belang van een fundamentele benadering 12

3.2. De essentie van een structurele modelmatige aanpak 13

3.3 De rol van wiskundige modellen 14

4 Het toenmalige beeld van de toekomst 16

4.1 Ingenieur en maatschappij 16

4.2 Technologie: ”*Iedere verandering is een ontwrichting van de Dienst*” 17

5 Mijn promotieonderzoek en de afsluiting van een tijdperk 19

5.1 Ik word fotogrammeter? 19

5.2* De aanpassing van de Delftse ideeën voor 3D netwerken 20

5.3 Tijd voor wat anders 22

DEEL II DE WORDING VAN EEN GEO-INFORMATICUS 25

6. De Aanloop 25

6.1 ITC en de opkomst van de remote sensing 25

6.2 Een eerste kennismaking met de Remote Sensing 26

6.3 Opkomst van geografische informatiesystemen (GIS) 29

7. De contouren van een nieuw probleemveld worden zichtbaar 31

7.1 Benoeming tot hoogleraar “Landmeetkunde en Teledetectie” 31

7.2 Het belang van de integratie van RS en GI 33

8 Het traditionele kaartparadigma wordt verlaten 35

8.1 Het kaartparadigma 35

8.2 De behoefte aan grondslagen voor ruimtelijke gegevensmodellering 37

8.3* Een paar opmerkingen over geometrische representatievormen 39

8.4* De koppeling van geometrische en thematische gegevens 40

9 De lessen van Álora 44

9.1 Het objectbegrip 44

9.2 Het objectbegrip blijkt niet-triviaal te zijn 44

9.3 De thematische beschrijving van objecten 46

9.4* Thematisch-geometrische partities (Single Valued Vector Maps, SVVM) 49

9.5 Objecthiërarchieën 50

9.6 Tot slot 54

10 De bijdragen van promovendi 55
10.1 Database operaties 55
10.2 De rol van geo-informatie bij de RS-beeldinterpretatie 58
10.3 Uitbreiding van het object begrip 61
10.4 Terug naar het ITC 67

DEEL III Pas achteraf besef je hoe de wereld veranderd is 69

11 Een terugblik op voorgaande ontwikkelingen 69
11.1 Invloed van de Delftse School op de gekozen aanpak van het onderzoek 69
11.2 De wereld met andere ogen bezien 70
11.3 Een volwassen wetenschap? 75
12 Een veranderend werkveld door en voor de GeoICT 79
12.1 Uitvoeringsorganisaties 79
12.2 Wetenschappelijke en beroepsorganisaties 81
12.3 Verhoogde professionele dynamiek en globalisatie 85
13 De dynamisering van ons wereldbeeld 86

DEEL IV De onderzoeker wordt bestuurder 90

14 De veranderende wereld van het ITC 90
14.1 Het academische profiel 92
14.2 Internationale samenwerking 93
14.3 Inbedding in het Nederlandse universitaire stelsel 95
14.4 De bestuurlijke integratie in de Universiteit Twente 100
14.5 *".... dan stop ik er nu mee!"* 103
15 Nawoord 104

LITERATUUR 109

Lijst van illustraties 114

ANNEXEN 117

Annex 1*: Een opmerking over geometrische basisstructuren 117
Annex 2*: Formalisatie van relaties tussen entiteitstypen in FDS 119
Annex 3: Brief aan Baarda bij zijn 80ste verjaardag 121
Annex 4: Promovendi 123
Annex 5: Promotieonderzoeken 127
A5.1 Onderzoeken op het gebied van geo-informatiemodellen 127
A5.2 Database-generalisatie 129
A5.3 Het gebruik van RS voor ruimtelijke inventarisaties 131
A5.4 De rol van geo-informatie bij de RS-beeldinterpretatie 133
A5.5 Ruimtelijke onzekerheid 135
Annex 6: Enkele feiten over het ITC 137
Annex 7: Intentieverklaring UT en ITC 139

INLEIDING

De generatie van de babyboomers, waar ik nog net toe behoor, is opgeleid in een tijd waarin de traditionele beroepsuitoefening in de geodesie en de meeste andere vakgebieden, op haar eind liep. De jaargroepen van rond mijn leeftijd zijn nog opgevoed in die oude tradities, terwijl veranderingen zich al aankondigden. Die veranderingen werden vooral gedreven door grote vernieuwingen in de technologie; het tijdperk van de elektronica was aangebroken en het civiele gebruik van computers begon opgang te vinden. Niet veel later zou deze opgang uitgroeien tot een doorbraak; en deze leidde vervolgens tot een technologische revolutie. Die doorbraak deed vele beroepen op hun fundamenten schudden en daarmee de hele samenleving. Tijdens mijn studie in de geodesie zouden we nog maar beperkt kennismaken met de impact daarvan op ons werk. Wij leerden eerst van computers gebruik te maken voor het uitvoeren van de landmeetkundige berekeningen. Maar al snel zou dat dieper gaan door de mogelijkheid om complexe en omvangrijke rekenprocessen uit te voeren die voorheen niet mogelijk waren. Dat betrof met name rekenprocessen die ontworpen waren op grond van een fundamentele wiskundige basis, en die het ook mogelijk maakten om op de mathematische statistiek gebaseerde kwaliteitsanalyses uit te voeren op landmeetkundige projecten.

Dit was nog maar een begin, want niet lang na afronding van onze studie gingen de ontwikkelingen heel snel; en daarbij werd duidelijk dat computers niet alleen konden worden ingezet voor rekenwerk, maar ook voor een breed scala aan andersoortige toepassingen, zoals bijvoorbeeld voor administratieve processen, beeldverwerking en grafische representaties. De eerste remote-sensingopnamen vanuit satellieten kwamen beschikbaar; en daarna zou de opkomst van de geografische informatiesystemen (GIS) niet lang meer op zich laten wachten. Hierdoor ontstond een geheel nieuw aandachtsveld, dat al snel het domein van onze geodetische opleiding naar de achtergrond zou duwen. Er lagen nieuwe uitdagingen en mogelijkheden die om onze aandacht vroegen. Mijn generatie was de generatie die de overgang van het oude analoge werken naar het nieuwe digitale tijdperk heeft meegemaakt en daarin als pioniers haar weg moest zoeken.

Het is deze omslag die ik hier wil beschrijven; en zoals de subtitel van de monografie aangeeft, ga ik daarbij uit van mijn eigen ervaring en de ontwikkeling die ik daarbij doormaakte. Toch hoop ik dat men dit persoonlijke relaas vooral zal lezen als een schets van de ontwikkelingen die mijn hele generatie doormaakte. Het is natuurlijk onmogelijk om deze geschiedenis in haar volle omvang te vatten. Vandaar dat ik hier, vanwege mijn academische loopbaan, vooral aandacht besteed aan de wijze waarop de opkomst van de Geo-ICT en de aardobservatie ons denken over de ruimte waarin we leven heeft beïnvloed. Het gaat dan over de conceptuele modellen die we zijn gaan hanteren om vat te krijgen op onze omgeving en daar beschrijvingsvormen voor te ontwikkelen die ver voorbijgaan aan de wijze waarop we dat voeger met kaarten deden. Dit alles had grote gevolgen voor de verwerkingsprocessen voor ruimtelijke informatie en daardoor ook voor organisaties die daarbij een rol speelden.

Al heel vroeg, in 1961, begon voor mij het spoor dat me via de geodesie naar de geo-informatie en aardobservatie zou leiden. Ik ging toen voor het eerst naar de HBS in Schagen, een school die pas een paar jaar daarvoor was opgericht, met een nog jong lerarencorps. Daar zat ook een wiskundeleraar bij met een merkwaardige opleiding, hij was Geodetisch Ingenieur. Ruud Kammer was zijn naam. Zijn didactische benadering was nogal lastig voor leerlingen die moeite hadden met wiskunde, maar ik was al snel geboeid door het vak. En ik was ook

nieuwsgierig naar wat de opleiding van Kammer inhield. De encyclopedie van Winkler Prins gaf uitkomst en wat ik daar las intrigeerde me, want het bleek om een vakgebied te gaan waarin wis- en natuurkunde een belangrijke rol speelden. Het vakgebied was gericht op landmeetkunde, cartografie en de bepaling van de grootte en vorm van de aarde. Bovendien had het relaties met de astronomie en de geofysica.

Na mijn HBS-eindexamen in 1967 begon ik aan de studie Geodesie in Delft. Het lag daarbij voor de hand dat mijn belangstelling vooral zou uitgaan naar de mathematisch-fysische Geodesie. Daarbinnen trok tijdens de studie vooral het gedachtengoed van de Delftse School mijn aandacht (Molenaar, 2020). Daar lag de aanzet tot mijn latere loopbaan, die in 2014 afliep bij mijn emeritaat als hoogleraar aan de faculteit ITC in Enschede, het ITC was toen net een faculteit van de Universiteit Twente geworden. Met mijn studietijd in Delft erbij heb ik dus in 47 jaar een ontwikkeling doorgemaakt die begon bij de geodesie en eindigde met de geo-informatiewetenschappen en de aardobservatie. Een ontwikkeling die werd gekenmerkt door mijn sprong van een gevestigde discipline naar een nog nieuw en deels onbekende discipline die nog volop in ontwikkeling was. Maar onder deze schijnbare breuk lag op een diepere en meer abstracte laag toch een duidelijke continue lijn. Maar onder deze schijnbare breuk lag op een diepere wat meer abstracte laag toch duidelijke continue lijn. En dit spanningsveld tussen deze schijnbare breuk en de onderliggende continuïteit is een van de belangrijke thema's van deze monografie. Met de sprong van de geodesie naar de geo-informatie en de aardobservatie, versprong de aandacht van de kwaliteit van landmeetkundige geometrische configuraties naar de rol en de structuur van semantische informatiemodellen. De continuïteit daarbij betreft de fundamentele onderzoekshouding bij het zoeken naar de grondslagen van beide aandachtsvelden. Mijn opvoeding in Delft speelde daarbij een essentiële rol.

Deze geschiedenis wordt hier in vier delen behandeld. Ik ben daarbij terughoudend geweest met het noemen van namen van mensen waar ik mee samenwerkte, maar het moet duidelijk zijn dat de ontwikkeling van ideeën natuurlijk niet in isolement kon plaatsvinden. Gaandeweg de jaren ontstond er een groeiende gemeenschap die op het veld van de geo-informatie en de aardobservatie actief was. Een gemeenschap waarin mensen vanuit vele disciplines en achtergronden instroomden, zowel uit het onderzoek, de technologieontwikkeling en de gebruikspraktijk, en uit zowel de private en de commerciële als de publieke sector. Deze grote verscheidenheid aan achtergronden leidde tot een grote verscheidenheid aan inzichten, prioriteiten en ideeën. Die waren allemaal van grote invloed op de onderzoekslijn die ik met medewerkers en promovendi in Wageningen ontwikkelde. Verder zij wellicht ten overvloede nog opgemerkt dat de behandeling van deze geschiedenis hier met zevenmijlslaarzen geschiedt, en dus verre van volledig is; maar hopelijk worden juist door het wegvallen van details, de hoofdlijnen van de ontwikkelingen duidelijk zichtbaar.

DEEL I betreft mijn vorming tot geodeet. Het geeft een schets van de wijze waarop eind jaren '60 en begin jaren '70 tegen het vakgebied werd aangekeken. Over de mogelijke rol van computers werd toen nauwelijks nagedacht, want deze werden nog vooral gezien als rekenapparaten. Het was een tijd van maatschappelijke onrust en studentenrevoltes. Daarom werd veel gesproken over de maatschappelijke rol van de technologie en daarmee ook over die van de ingenieur.

Ondertussen bereikte het gedachtengoed van de Delftse School haar voltooiing, (Molenaar, 2020), een boeiende en fundamentele benadering voor het formuleren van kwaliteitseisen en

de daarbij behorende kwaliteitsanalyses van landmeetkundige projecten. De vertaling van 2D- naar 3D-meetconfiguraties moest nog uitgewerkt worden. Dat was het thema waar ik en een aantal medepromovendi aan werkte.

DEEL II betreft de opkomst eerst van de remote sensing of aardobservatie en vervolgens van de geo-informatieverwerking. Na voltooiing van mijn studie in Delft ging ik in 1973 bij het ITC in Enschede werken, bij de afdeling Fotogrammetrie. Naast een stevige onderwijstaak gericht op onderwerpen uit de waarnemingsrekening, deed ik mijn promotieonderzoek om te zien hoe de Delftse ideeën konden worden toegepast op fotogrammetrische 3D-metingen. Daarnaast maakte ik door intensieve contacten met collega's van andere afdelingen ook kennis met de methodes en gebruiksmogelijkheden van de remote sensing en maakte ik de eerste stappen mee op het gebied van de geo-informatieverwerking. Dat alles tezamen genomen vormde een goede achtergrond voor mijn overstap van Enschede naar Wageningen, waar ik hoogleraar "Landmeetkunde en Teledetectie" werd. Daar ontdekte ik al snel dat er een geheel nieuw en nog nauwelijks ontgonnen aandachtsveld lag op gebied van de geo-informatieverwerking en de RS-beeldinterpretatie.

Voor het structureren van processen voor RS-beeldanalyse, met ondersteuning van beschikbare ruimtelijke informatie, moesten nieuwe informatiemodellen ontwikkeld worden. De ontwikkeling van een geo-informatietheorie is dan ook het centrale thema van DEEL II. Die wordt beschreven tegen de achtergrond van de opkomst van de technologie voor RS en GIS. Daarbij worden een aantal theoretische begrippen toegelicht om aan de hand daarvan de theorievorming door de tijd heen te kunnen schetsen. Deze begripsontwikkeling wordt niet precies chronologisch behandeld, omdat de thematische samenhang vaak voorrang krijgt. Verder wordt beschreven hoe ideeën en concepten vorm kregen in de wisselwerking tussen de onderzoeksprojecten van promovendi en mijn eigen worsteling met de materie.

DEEL III Na mijn terugkeer naar het ITC in 1996, beëindigde mijn actieve rol in het onderzoek toen ik in 2001 rector werd van dit instituut. Een goed moment om eens terug te blikken op de bovenbeschreven ontwikkelingen. Deze terugblik betreft ten eerste de stand van het onderzoek. Daarbij wordt nog eens nagegaan in hoeverre mijn Delftse opvoeding een rol speelde bij de vorming van ideeën en concepten in het kader van de geo-informatietheorie. Bovendien is er de vraag in hoeverre deze ideeën van invloed waren op de wijze waarop we onze omgeving waarnemen. Vervolgens rijst dan de vraag of uit dit aandachtsveld nu een volwassen wetenschappelijke discipline is gegroeid.

Daarna volgt een kort overzicht over hoe dit alles invloed heeft gehad op de beroepsvelden die zich met de geo-informatievoorziening bezighouden. Daarbij wordt vooral gekeken naar de traditionele publieke uitvoeringsorganisaties. Het veld heeft zich geherstructureerd en daarbij zijn nieuwe taken en mandaten opgelegd aan die organisaties. Verder hebben wetenschappelijke- en beroepsorganisaties nieuwe doelstellingen geformuleerd en zijn verenigingen dienovereenkomstig samengevoegd. Het aandachtsveld is aanzienlijk dynamischer geworden in vergelijking met de tijd van mijn Delftse opvoeding, en dat geldt zowel in inhoudelijke en technologische zin als wat betreft de professionele samenstelling van dit aandachtsveld. Werkprocessen vernieuwen zich permanent, evenals de levering van producten en diensten. En dat alles in een geglobaliseerde context.

DEEL IV wijkt wat thema betreft af van de drie voorafgaande delen, die vooral gericht zijn op de ontwikkelingen rond de ruimtelijke infomatiewetenschap gezien vanuit het perspectief van

mijn academische loopbaan. Op het moment dat ik rector van het ITC werd, waren er andere thema's die de aandacht vroegen. De wereld veranderde snel, in belangrijke mate aangedreven door de vooruitgang van de steeds hechter verstrengelde wetenschap en technologie. Er ontstond er een nieuwe wereldorde. Daarin speelden een aantal nationale, internationale en zelfs mondiale processen, die ook grote invloed hadden op de toekomst van het ITC. Naast de bovenbeschreven snelle veranderingen op professioneel en wetenschappelijk gebied, hadden bijvoorbeeld de Bologna verklaring van 1999 en GATS[1] een grote invloed op de institutionele ontwikkeling van het ITC. De Bologna verklaring van 1999 betrof de organisatie van het hoger onderwijs in Europa. Daarnaast zou GATS indirect ook gevolgen hebben voor de condities waaronder het ITC zijn taken als instituut voor internationaal onderwijs zou kunnen uitvoeren. Die twee internationale overeenkomsten dwongen het ITC ertoe om zijn academisch profiel te versterken en om toe te werken naar een integratie in het Nederlandse universitaire bestel. Dit alles leidde er uiteindelijk toe dat het ITC de zesde faculteit werd van Universiteit Twente. Na de beschrijving van mijn bestuurlijke ervaringen als rector van het ITC, eindigt dit vierde en laatste deel van deze monografie met een korte nabeschouwing.

Aanvullend nog een paar opmerkingen:

- Na de hoofdtekst wordt in een zestal Annexen nog een aantal onderwerpen verder toegelicht of uitgewerkt.
- Vetgedrukte cijfers als **9.3** verwijzen naar de paragrafen met die nummers.
- De paragrafen gemerkt met het symbool * zijn wellicht wat lastiger om te lezen voor sommige lezers, hoewel ik heb geprobeerd om de tekst zo toegankelijk mogelijk te houden.

[1] General Agreement on Trade in Services

DEEL I De vorming van een geodeet

1 Het beroepsbeeld in de opleiding

Na het behalen van het HBS-diploma, begon ik in 1967 aan de opleiding tot geodetisch ingenieur in Delft. Deze opleiding werd verzorgd door de Onderafdeling Geodesie *(Fig. 1)* van de Afdeling Civiele Techniek van de toenmalige Technische Hogeschool Delft. Later zou Geodesie een zelfstandige faculteit worden, die echter in 2003 werd opgeheven. Ik werd vooral aangetrokken door de mathematische en fysische aspecten van het vakgebied. Bovendien trok het idee me aan dat ik als geodeet mijn metingen buiten in het open veld zou doen en dat er wellicht mogelijkheden waren om in een ver buitenland te werken. Bij aankomst in Delft bleek al snel dat ook veel aandacht werd besteed aan planologische en juridische onderwerpen; dit vanwege de betrokkenheid van veel geodeten bij ruilverkavelingen, landinrichtingsprojecten en stedelijke ontwikkelingen. De wijze waarop Prof Piet de Haan ons inleidde in het recht, en met name het zakelijk recht, was door zijn systemische aanpak zeer aansprekend voor aankomend ingenieurs[2]. Maar mijn interesse was toch vooral gericht op de technische en mathematisch-fysische aspecten van de opleiding.

Fig. 1: "Geodesie", Kanaalweg 4, Delft

Landmeetkunde en fotogrammetrie

De technische en mathematisch-fysische kant van het vak omvatte toen: de landmeetkunde inclusief de astronomische plaatsbepaling, de fotogrammetrie, de fysische geodesie gericht op de bepaling van het gravitatieveld van de aarde, en de plaatsbepaling op zee. In dit veld zou ik me vooral richten op de landmeetkunde met name de daaraan gekoppelde inleiding in de vereffeningstheorie.

Het landmeetkundige werk in het veld kende ruwweg twee hoofdfasen, de grondslagmeting en de topografische detailopnamen. Bij grondslagmetingen werd in aansluiting op het coördinatenstelsel van de Rijks Driehoeksmeting (RD-stelsel) een meetkundig netwerk, ook verdichtingsnet genoemd, over een op te meten gebied gelegd. Daarin werden punten

[2] Hij werkte vanuit een benadering waarin hij het zakelijk recht in een eenduidige samenhangende systeemstructuur probeerde onder te brengen. Deze benadering sprak aankomend ingenieurs wel aan, maar in latere gesprekken met juristen bleken die daar ernstige bedenkingen bij te hebben.

opgenomen met bekende RD-coördinaten en punten waarvan men die coördinaten wilde berekenen. Dit was de fase van de landmeetkundige net- of grondslagverdichting.

Hij is gelukkig met het landschap,
maar gelukkig met het zoeken, coördinaten
wijzen hem zijn zichtbare plek,
zijn utopie is de kaart,
niet de wereld
Hij wil weten waar hij is,
maar zijn troost is te weten dat
de plek waar hij is
niet anders bestaat
dan als zijn eigen formule, ...

uit:
"De Landmeter"
Rutger Kopland

Fig. 2: De Landmeter

In de volgende fase, die van de detailmeting, werden er vanuit de "grondslagpunten" karakteristieke punten van terreinkenmerken aangemeten en ook in coördinaten berekenend. Die terreinkenmerken betroffen meestal topografische objecten, zoals huizen, sloten, wegen of straatmeubilair; maar het ging ook om kadastrale percelen etc. In die context zag men bij de opleiding toen nog de landmeter op laarzen in het veld zijn metingen doen (*Fig.2*), en deze op kaart vastleggen. De ligging van punten werden vastgelegd in RD-coördinaten met een hoogte t.o.v. NAP. Daarnaast werden landmeetkundige technieken ingezet voor de ondersteuning van technische projecten, zoals de aanleg van infrastructuur, stadsuitbreiding, de bouw van huizen e.d., tunnelbouw, de Deltawerken etc.

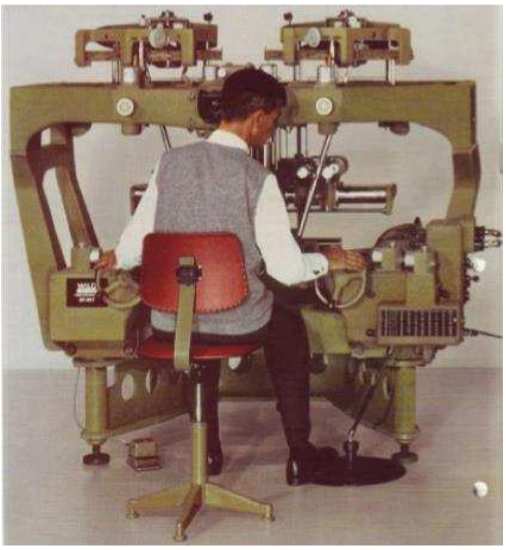


Fig. 3: De Verwerking van luchtfoto's

De fotogrammetrie had na WO II een grote ontwikkeling doorgemaakt en werd als efficiënte methode gezien om uit luchtfoto's kaarten te maken, vooral topografische en kadastrale kaarten. De fotogrammetrische kartering werd uitgevoerd met instrumenten waarin langs optisch-mechanische weg een stereoscopisch beeld werd gegenereerd uit twee elkaar deels overlappende luchtfoto's. In dit stereoscopisch beeld van het aardoppervlak, een stereomodel genoemd, kon de geometrie van topografische terreinkenmerken worden vastgelegd in de vorm van karakteristieke punten en lijnen. In zo'n stereomodel kon men bij reliëf ook hoogtelijnen aanmeten om hoogtekaarten te maken.

De instrumenten waarmee dat gebeurde, zoals in *Fig. 3,* waren kostbaar en vroegen om substantiële investeringen. Maar ze deden lang dienst, zodat de afschrijving over ca 20 jaar liep. In de tijd van mijn opleiding werd de fotogrammetrie, als het ging om netverdichting, nog niet echt als gelijkwaardig aan de landmeetkunde gezien.

De kwaliteit van de geleverde coördinaten vond men in vergelijking met de landmeetkunde nog onvoldoende. Pas in de loop van de jaren ’80 zou de fotogrammetrie op dit punt emanciperen en als volwaardige methode voor puntsbepaling geaccepteerd worden. In die tijd werden ook methodes ontwikkeld voor het meten van kwalitatief goede digitale hoogtemodellen.

De hogere geodesie

Metingen van de zwaartekracht, gecombineerd met geodetisch-astronomische waarnemingen, waren nodig om de vorm te schatten van de geoïde; dit is een referentievlak dat ongeveer op gemiddeld zeeniveau ligt. Ten opzichte daarvan worden hoogten op het aardoppervlak bepaald. Uit de vorm van de geoïde kan men overal de locale richting van de zwaartekracht berekenen. Die richting was nodig voor astronomische plaatsbepaling ter ondersteuning van de meting van geodetische netwerken over grotere gebieden, omdat daarbij de kromming van het aardoppervlak merkbaar is.

Metingen naar satellieten werden gedaan om (inter)continentale verbanden te leggen teneinde grotere, en zelfs wereldomvattende, referentiesystemen (coördinatensystemen) te definiëren. Uit dergelijke metingen werden ook de relatieve bewegingen van aardschollen geschat. De afdeling Geodesie nam deel aan internationale projecten op het gebied van de satellietgeodesie, daarvoor was een waarnemingsstation ingericht bij Kootwijk (Aardoom, 2012). Voor landmeetkundige en/of geodetische projecten werden toen wel testmetingen gedaan met doppler-satelliet waarnemingen, maar dit was nog niet een gangbare operationele praktijk, en die techniek zou daar ook niet echt deel van gaan uitmaken. Dit alles was in de tijd dat GPS nog niet beschikbaar was voor civiele toepassingen.

2 Kennismaking met het gedachtengoed van de Delftse School

2.1 “Ware waarde” bestaat niet

In het technische, mathematisch-fysische deel van de opleiding werd veel tijd ingeruimd voor het gedachtengoed van wat de Delftse School werd genoemd (Molenaar, 2020). Toen ik studeerde, was Prof. Willem Baarda de trekker van de ontwikkeling van dit gedachtengoed. Hij had die rol in 1951 overgenomen van zijn leermeester Jacob Menno Tienstra. Ik raakte geboeid door wat hier gebeurde en heb tijdens de opleiding mijn interesse daar voor een belangrijk deel op gericht. Maar hoewel de ideeën van de Delftse School relevant waren voor alle onderwerpen uit de mathematisch-fysische geodesie, richtte het onderwijs over dit onderwerp zich in hoofdzaak op de problematiek van de landmeetkunde, vooral de vlakke landmeetkunde[3].

Al direct aan het begin van de opleiding werd ons duidelijk gemaakt, dat de wiskunde die we op de HBS geleerd hadden niet zonder meer in de geodesie kon worden toegepast. Berekeningen in de geodesie gaan namelijk niet uit van wiskundige grootheden, maar van meetresultaten, ook waarnemingen genoemd[4]; en dat is een principieel verschil. Wiskundige begrippen, zoals hoeken en afstanden, worden weliswaar gebruikt om relaties tussen punten in het veld te specificeren, maar de numerieke waarden daarvoor worden via metingen verkregen.

[3] Hierbij wordt het aardoppervlak als vlak beschouwd, toepassing van de vlakke meetkunde was daarvoor voldoende. Punten werden in x,y coordinaten berekend.

[4] De begrippen “meetresultaten”, “meetgegevens” en “waarnemingen” worden door elkaar gebruikt.

Een paar oefeningen toonden ons al snel aan, dat bij herhaling van de meting van een hoek of een afstand de uitkomsten een zekere spreiding vertonen, aangeduid als ruis op de waarnemingen. Die spreiding, of ruis, is niet te wijten aan gemaakte meetfouten, maar aan het feit dat de meetprocessen een stochastisch karakter hebben. De spreiding in de meetresultaten wordt uitgedrukt in hun standaardafwijking, of het kwadraat daarvan, hun variantie.

Begrippen als “afstand” en “hoek” waren wiskundig wel scherp gedefinieerd, maar de toepassing van deze begrippen bij meting in de fysieke werkelijkheid kende onzekerheden. Het bleek dat deze begrippen in de fysieke werkelijkheid niet eenvoudig te duiden waren, zodat het ook niet mogelijk was om er op een eenduidige wijze waarden aan toe te kennen. Wij leerden dat in deze situatie het begrip “ware waarde” geen betekenis heeft. Ik weet nog dat die boodschap toen met een kleine schok tot me doordrong. Pas later ben ik langzamerhand gaan begrijpen wat dit betekent voor de kenbaarheid van de wereld. In **10.3** en **11.3** kom ik hierop terug.

Zoals hierboven al kort is beschreven, was destijds de gangbare praktijk dat meetkundige constructies werden ontworpen, met daarin terreinpunten waarvan men de RD-coördinaten wilde vaststellen. In deze constructies werden ook punten opgenomen met reeds bekende RD-coördinaten, die via driehoeken of ketens van hoek- en afstandmeting verbonden waren met de nieuwe nog onbekende punten. Na uitvoering van hoek- en afstandmetingen werden voor deze nieuwe punten dan de coördinaten berekend. Daarbij werden altijd extra metingen opgenomen die niet strikt noodzakelijk waren voor de berekening van nieuwe RD-coördinaten. Deze zogenoemde overtallige metingen, dienden om te controleren of er geen meetfouten gemaakt waren. Wegens het stochastisch karakter van de metingen traden steeds tegenspraken op in uitkomsten van een dergelijke coördinaatberekening, waardoor het niet mogelijk was om uit de oorspronkelijke meetgegevens op een eenduidige manier de nieuwe coördinaten te berekenen. Dat kon slechts nadat de verkregen waarnemingen op een statistisch verantwoorde manier zodanig werden gecorrigeerd dat deze tegenspraken uit de berekening verdwenen.

Teneinde dergelijke correcties op een wetenschappelijk verantwoorde manier te kunnen uitvoeren, kregen wij geodeten in het kader van de colleges “vereffeningstheorie” een inleiding in de methode der kleinste kwadraten (KK). Deze KK-methode ontleent haar naam aan het feit dat de waarnemingen zo gecorrigeerd worden, dat de som van de kwadraten van alle berekende correcties tezamen minimaal is. Bij de toepassingen van deze methode, die in de jaren ’60 werden ontwikkeld, ging men uit van de gewogen som van die kwadraten. Bij het bepalen van die minimum som werd rekening gehouden met de onzekerheid van de meetresultaten door de varianties daarvan als gewichten te gebruiken. De KK-methode was in de 19de eeuw ontwikkeld als onderdeel van de mathematische statistiek en voor het eerst toegepast bij astronomische waarnemingen. De methode bleek geschikt te zijn voor een breed scala aan toepassingen, waaronder geodetische en landmeetkundige.

2.2* Ideeën over de kwaliteit van geodetische gegevens

De structuur van geodetische netwerken

De basisfiguur in landmeetkundige[5] constructies is de driehoek, waarvan de vorm bepaald wordt door een hoek die is gemeten in een van de hoekpunten met daarbij de lengteverhouding

[5] De termen “geodesie” en “landmeetkunde” zullen in deze tekst door elkaar gebruikt worden.

tussen de aanliggende zijden. Baarda gebruikte deze elementaire vormelementen als uitgangspunt voor de wijze waarop coördinaten berekend werden uit metingen (Molenaar, 2020).

Terzijde
Baarda maakte daarbij gebruik van complexe getallen en voegde deze vormelementen samen in de complexe grootheid[6]:

$$\Pi_{jik} = \ln v_{jik} + i \cdot \alpha_{jik} = (\ln l_{ik} - \ln l_{ij}) + i \cdot (r_{ik} - r_{ij})$$

Hierin vormt $\ln v_{jik}$ *het reële deel en* $i \cdot \alpha_{jik}$ *het imaginaire deel. De subscripts jik verwijzen naar de meetopstelling waarin vanuit opstelpunt i richtingen en afstanden zijn gemeten naar de richtpunten j en k. Deze pi-grootheden speelden een centrale rol in het beschrijven van de structuur van geodetische netwerken.*

Door de wijze waarop hij met complexe getallen de formules uitwerkte voor de berekening van coördinaten uit de gemeten grootheden, bleek dat de gemeten richtingen r en de (natuurlijke logaritmes van) de zijdelengtes l daarin dezelfde rol hadden. In de praktijk kon je toen nog wel vraagtekens zetten bij deze constatering, omdat de in zijn tijd gangbare technieken voor afstandsmeting zeker niet zo nauwkeurig waren als de richtingsmeting met theodolieten. Maar in de jaren ’60 en ’70 werden voor de afstandsmeting nieuwe elektronische en electro-optische meettechnieken ingevoerd, waarvan de nauwkeurigheid wel vergelijkbaar was met die van de richtingsmeting.

Hoeken en lengten waren ook de vormelementen die de basis vormden voor wat Baarda noemde “de analyse van de sterkte van landmeetkundige netwerken”. Met “sterkte” bedoelde hij de kwaliteit van de geometrische structuur, en daarmee werd duidelijk dat deze vormelementen een centrale rol moesten spelen bij de kwaliteitsanalyses van netwerken. De kwaliteit van de vormelementen zelf werd alleen bepaald door de kwaliteit van de metingen. De uiteindelijk berekende coördinaten waren in dit opzicht slechts afgeleide grootheden; hun kwaliteit was afgeleid van die van de vormelementen en van de keuze van een coördinatensysteem. Baarda stelde voor om deze definitie expliciet te maken door voor twee punten coördinaten te kiezen. Deze punten noemde hij de Schrankingsbasis, of S-basis. Een zo gedefinieerd coördinatenstelsel werd een Schrankingsstelsel, of S-stelsel genoemd.

Uit zijn analyse volgde ook dat afstandsmeting[7] en richtingsmeting (met theodolieten) met dezelfde nauwkeurigheid moest gebeuren. De introductie van elektronische en/of electro-optische afstandsmeting maakte het mogelijk om dat in het meetproces te realiseren, door op standplaatsen naar alle richtpunten zowel richtingen als afstanden te meten. Deze ontwikkeling leidde ook tot een andere structuur van meetnetwerken. Voor grotere netwerken, waarvoor een relatief hoge nauwkeurigheid van de berekende coördinaten werd vereist, kon men nu de strenge driehoeksconfiguratie loslaten en volstaan met meer open structuur, met in zichzelf gesloten ketens, de zogenoemde kringnetten (Molenaar, 2020).

---

[6] In deze uitdrukking is de lengteverhouding $v_{jik} = l_{ik}/l_{ij}$, en voor de logaritmes $\ln v_{jik} = \ln l_{ik} - \ln l_{ij}$ Daarnaast geldt voor de hoek $\alpha_{jik} = r_{ik} - r_{ij}$ In deze uitdrukkingen staat l voor een zijdelengte en r voor een richting, de indices verwijzen naar de eindpunten van de betrokken zijdes.

[7] De begrippen “afstand” en “lengte” worden hier door elkaar gebruik, omdat de afstand tussen standplaats en richtpunt de lengte is van de netwerkzijde tussen deze twee punten.

De precisie van berekende coördinaten

De ruis op de metingen werkte door op de berekende coördinaten. Geodeten berekenden die effecten, omdat deze ruis weer invloed zou hebben op latere uitbreiding van bestaande puntenvelden, waarbij metingen werden aansloten op reeds in coördinaten bekende punten. Daarom werden varianties en co-varianties berekend van zowel puntcoördinaten als van coördinaatverschillen bij puntenparen. Met deze varianties werden voor punten standaardellipsen berekend en voor puntenparen relatieve standaardellipsen. Deze ellipsen gaven een grafische indruk van de kwaliteit van de berekende coördinaten.

Deze aanpak was met de vroeger beschikbare rekentechniek zeer bewerkelijk. Er werden maten bedacht voor de grootte die ellipsen maximaal mochten hebben om aan gewenste kwaliteitsnormen te voldoen (HTW, ’38 en ’56) (Molenaar, 2020). Met de toen beperkte rekenkundige hulpmiddelen, want nog voor de opkomst van de eerste computers, werden dergelijke toetsen op de kwaliteit van nieuw ingemeten punten meestal toegepast op onderdelen van gemeten netwerken, maar zelden of nooit op een heel netwerk.

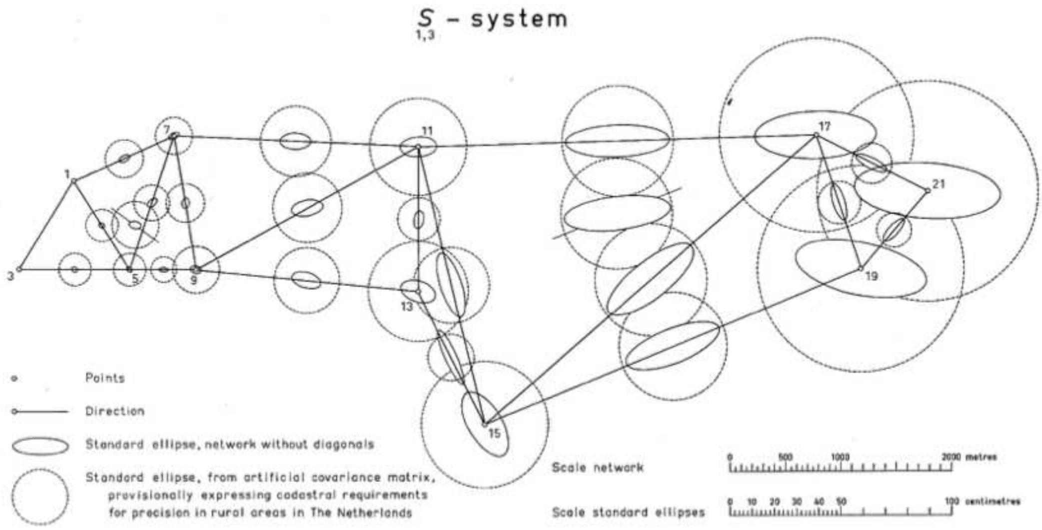


Fig. 4: De ellipsen geven de nauwkeurigheid van de berekende punten weer en de cirkels representeren de nauwkeurigheidseisen. De ellipsen moeten binnen de cirkels blijven. Cirkels en ellipsen moeten dan wel t.o.v. eenzelfde rekenbasis berekend zijn, in dit voorbeeld de punten 1 en 2. (Baarda, 1973)

Deze aanpak was met de vroeger beschikbare rekentechniek zeer bewerkelijk. Er werden maten bedacht voor de grootte die ellipsen maximaal mochten hebben om aan gewenste kwaliteitsnormen te voldoen (HTW, ’38 en ’56) (Molenaar, 2020). Met de toen beperkte rekenkundige hulpmiddelen, die nog voor de opkomst van de eerste computers ter beschikking stonden, werden dergelijke toetsen op de kwaliteit van nieuw ingemeten punten meestal toegepast op onderdelen van gemeten netwerken, en maar zelden of nooit op een volledig netwerk.

Baarda was niet tevreden met deze opzet, om twee redenen:

- ten eerste was er het feit dat de (relatieve) standaardellipsen niet de volledige informatie bevatten over de kwaliteit van berekende coördinaten. De volledige covariantiematrix van alle punten in een netwerk bevatte daarentegen wel alle informatie.
- Als nieuwe metingen op slechts twee gegeven punten werden aangesloten, de hierboven

bedoelde rekenbasis of S-basis, dan hing de berekende covariantiematrix af van de ligging van deze punten in het netwerk. Daarmee was de berekende matrix dus niet alleen afhankelijk van de kwaliteit van het gemeten netwerk. Daarom moest de invloed van de rekenbasis geëlimineerd worden.

In de jaren ’60 en ‘70 kwamen de eerste computers beschikbaar. Daarmee kon men uitgaande van de varianties van waarnemingen, nu wel de hele covariantiematrix σ van alle coördinaten berekenen. Daarenboven was het nu ook mogelijk om deze matrix te vergelijken met een criteriummatrix H, waarmee het eerste hierboven genoemde bezwaar werd ondervangen. De criteriummatrix kon zodanig opgesteld worden dat de daaruit berekende (relatieve) standaardellipsen altijd cirkelvormig waren. Met één of twee parameters kon ook de grootte van de cirkels ingesteld worden. Als criterium voor netwerken kon dan de eis gesteld worden dat de ellipsen van de covariantiematrix van de berekende coördinaten binnen de overeenkomstige cirkels moesten vallen, zoals getoond in *Fig. 4*. Of algemener gesteld zou de kwaliteit van het gemeten puntenveld voldoen aan het met H gestelde criterium indien voor alle functies van de coördinaten F = F{ ...., x, y,.... } geldt, dat voor de daarvoor berekende variantie $\sigma_{FF} < H_{FF}$. Dus de met de covariantiematrix berekende variantie moet altijd kleiner zijn dan het op gelijke wijze uit H berekende criterium. Een voorwaarde daarbij was dat beide matrices in hetzelfde S-stelsel berekend waren. Het maakte daarbij dan weer niet uit in welk S-stelsel. En daarmee was ook het tweede bezwaar ondervangen. Baarda zag in dat het hier om maar één aspect van de kwaliteit van metingen ging en duidde dit aan met de term *precisie.*

Terzijde

In wiskundige zin betekent het bovenstaande, dat voor iedere F aan de eis $\sigma_{FF} < H_{FF}$ voldaan is, indien voor het eigenwaarden probleem:

$$| \sigma^{r,s} - \lambda H^{r,s}| = 0$$

voor de eigenwaarden geldt dat $\lambda_{min} > 0$ en $\lambda_{max} < 1$.

De bovenindices ^{r,s} geven hier aan dat beide matrices zijn berekend ten opzichte van dezelfde zelfde rekenbasis bestaande uit de punten r en s. In geval dat hieraan is voldaan, blijkt dat de invloed van de S-basis in deze vergelijking is geëlimineerd. Dus zijn de eigenwaarden λ onafhankelijk van de gekozen S-basis.

Betrouwbaarheid

Zoals boven vermeld, was het goed gebruik om bij het ontwerpen van meetconstructies extra controlemetingen toe te voegen, zodat fouten efficiënt en tijdig ontdekt werden. Daarom werden rekenprocedures ontwikkeld om fouten in waarnemingen en gegeven coördinaten op te sporen. Deze problematiek besloeg in landmeetkundige leerboeken meestal meerdere hoofdstukken. Het betrof dan rekenprocedures die met de oude beperkte rekenmiddelen gehanteerd konden worden. Dit waren professionele trucs die tot het gangbare arsenaal van vaardigheden van de landmeter behoorden. Dat was in de tijd dat de kk-methode nog geen integraal onderdeel was van de landmeetkundige praktijk.

Met de komst van computers in de jaren ’60 -’70 werd het mogelijk om de kk-methode streng toe te passen. Deze aanpak had niet alleen als resultaat dat er op een eenduidige wijze coördinaten konden worden berekend omdat daarmee de oorspronkelijke waarnemingen gecorrigeerd konden worden. Minstens zo belangrijk was dat deze correcties op de waarnemingen informatie bevatten over het al of niet optreden van meetfouten. Dit gegeven

was voor Baarda het aangrijpingspunt voor de ontwikkeling van een toetsmethode voor waarnemingen en gegeven coördinaten. Hij ging daarbij uit van het feit dat de gewogen som van de kwadraten van de correcties zich volgens de mathematische statistiek gedroeg als een Fischer-verdeelde grootheid. Voor dergelijke grootheden bestond een toetsprocedure, de zogenoemde Fischertest, waarmee kon worden onderzocht of de berekende waarden voor die grootheden significant afweken van wat men kon verwachten op basis van de precisie van de metingen. In dat geval zou zo'n afwijking kunnen wijzen op meetfouten. Dit idee werd uitgewerkt tot een procedure waarmee alle waarnemingen en gegeven coördinaten konden worden getoetst op het mogelijke fouten.

Bovendien kon voor alle waarnemingen en gegeven coördinaten worden berekend bij welke orde van grootte van die fouten er een redelijke kans bestond dat ze ook zouden worden gevonden. Deze waarden werden "grenswaarden" genoemd. En daarmee identificeerde Baarda een tweede aspect van de nauwkeurigheid van geodetische metingen, dat werd aangeduid als "*betrouwbaarheid*". De grenswaarden van de waarnemingen werden gezien als expressie van de "*interne betrouwbaarheid*" van een netwerk. Voor alle grenswaarden van de waarnemingsgrootheden kon dan het mogelijke effect op de berekende coördinaten worden afgeleid, en daarmee de "grenswaarden van de coördinaten". Die laatste grenswaarden representeerden gezamenlijk de "*externe betrouwbaarheid*" van een netwerk.

Invloed van waarnemingen en van gegeven coördinaten gescheiden benaderd

In de traditionele praktijk van landmeters en geodeten was het meestal niet goed mogelijk, om de invloed van waarnemingen en gegeven coördinaten te scheiden bij de analyse van de nauwkeurigheid van netwerken. Dit was nu wel goed mogelijk met de door Baarda ontwikkelde methodiek. Daarin werd een nieuw gemeten netwerk eerst alleen aangesloten op een S-basis met twee punten die als niet-stochastisch werden behandeld. Daardoor was het dus mogelijk om te analyseren wat de invloed was die de precisie en de betrouwbaarheid van de waarnemingen hadden op de berekende coördinaten. Als die invloed aanvaardbaar was, dan kon worden aangesloten op meerdere punten met reeds bekende RD-coördinaten. Vervolgens konden dan ook deze coördinaten op dezelfde wijze worden getoetst op het voorkomen van mogelijk fouten, net zoals de waarnemingen. Met deze benadering konden ook eventuele verstoringen in de gegeven coördinaten effectief opgespoord worden, zodat men de invloed van de gegeven coördinaten op de kwaliteit van de nieuw berekende punten kon scheiden van die van de waarnemingen. Deze scheiding in twee fasen voor de verwerking van nieuwe metingen was zeer belangrijk, waar het ging om de mogelijke keuze om delen van een netwerk te hermeten in geval er moeilijk te identificeren fouten optraden

3 De kracht van de aanpak van de Delftse School

3.1. Het belang van een fundamentele benadering

In die tijd was het nog gebruikelijk dat over een groot gebied driehoeksmetingen werden uitgevoerd om een dekkend wijdmazig puntenveld te creëren van hoge nauwkeurigheid: het zogenaamde eerste-orde net van de Rijksdriehoeksmeting. Op dat niveau werden driehoeken met zijdes van ca 30 km gemeten. Dit puntenveld werd vervolgens in twee of drie stappen verdicht met kleinere driehoeken tot een puntenveld van lagere orde. Vaak werden op de lagere niveaus ook andere minder strenge meetconfiguraties toegepast. Uiteindelijk werd dan de topografie ingemeten met lokale metingen die aansloten op deze RD-punten. De

driehoeksmetingen waren volledig gebaseerd op hoekmeting met theodolieten, waarbij van enkele driehoekszijdes de lengte werd bepaald via speciale metingen van een zogenoemde lengtebasis.

Zoals hierboven al is aangegeven, kon deze strenge driehoeksstructuur – met behulp van de sinds de jaren zestig in gebruik komende moderne technieken voor afstandsmeting – vervangen worden door de eenvoudigere kringnetten. Die konden op alle verdichtingsniveaus gebruikt worden. Het was daarom niet meer nodig om alle vroegere verdichtingsniveaus te handhaven en daarvoor speciale meetcampagnes te organiseren. Er konden nu vooraf nauwkeurigheidseisen gesteld worden, die gespecificeerd waren in de vorm van eisen voor precisie en betrouwbaarheid. Op basis van die criteria werden kringnetten ontworpen waarin de nieuwe punten werden ingemeten. Deze opzet, met de mogelijkheid om na meting alle waarnemingen te toetsen op mogelijke meetfouten, gaf een zeer goede garantie voor de kwaliteit van de geleverde coördinaten. Bovendien gaf de flexibele kringnetstructuur met deze ontwerp-methodiek een flinke versnelling en verhoogde efficiëntie van landmeetkundige werkzaamheden.

3.2. De essentie van een structurele modelmatige aanpak

Traditionele leerboeken besteedden altijd veel aandacht aan de verschillende type meetconfiguraties die voor de diverse terreinsituaties gebruikt werden. Daarbij waren voor ieder type configuratie vaak aparte berekeningsmethodes ontwikkeld. Voor ieder van die situaties waren dan wat trucs bedacht om inzicht te krijgen in de kwaliteit van de metingen en die van de berekende coördinaten. Dit maakte het meestal onmogelijk om de kwaliteit van alle coördinaten van een heel netwerk in zijn totale samenhang te bezien.

Baarda koos voor een diepergaande structurele analyse van het werk van de landmeter. Hij volgde deze aanpak al vanaf het begin van zijn loopbaan, maar de introductie van computers gaf hiertoe een extra stimulans. Hij vond het inefficiënt om computerprogramma's te ontwikkelen voor alle in de praktijk gebruikte berekeningsmethodes. Hij gaf de voorkeur aan een structurele benadering waarin alle voorkomende meetsituaties werden ondervangen. Daarmee zette hij de vigerende ambachtelijke praktijk van de landmeter om in een wetenschappelijk gefundeerde werkwijze. Hiertoe maakte hij drie essentiële stappen:

<u>Ten eerste</u>

Door de identificatie van de pi-grootheden als vormelementen van een netwerk werd op een eenduidige manier duidelijk hoe de kwaliteit van de waarnemingen doorwerkte in de kwaliteit van het netwerk. Dit aangevuld met het concept van een S-basis, gaf dan ook helder zicht op hoe de opzet van een netwerk doorwerkte op de kwaliteit van de daarmee berekende coördinaten.

De invoering van de pi-grootheden maakte, samen met de beschikbaarheid van computers voor de berekening en met nieuwe technieken voor de afstandsmeting, een uniforme aanpak voor het ontwerpen van netwerken mogelijk: de kringnetstructuur. Daardoor was het niet langer nodig om allerlei verschillende praktijksituaties te behandelen. Daarmee werd het ook mogelijk om een gestandaardiseerd rekenproces te ontwerpen, met een integrale aanpak voor de kwaliteitsanalyse van de waarnemingen en de daarmee berekende coördinaten.

Ten tweede
Door de expliciete keuze voor verwerking van de meetgegevens met behulp van de methode der kleinste kwadraten kon men nu voor de kwaliteitsanalyse van de gegevens en de verwerkingsresultaten terugvallen op het bouwwerk van de mathematische statistiek. Dit gold voor zowel de precisie van de berekende coördinaten (in de vorm van de volledige co-variantie matrix) als de specificatie van betrouwbaarheid daarvan. Zoals boven vermeld ontwikkelde Baarda, uitgaande van de Fischertest, een uniforme toetsprocedure voor alle gebruikte waarnemingen en gegeven coördinaten. Zijn definitie van betrouwbaarheid greep terug op de in de statistiek gedefinieerde begrippen “fouten van de eerste soort” en “fouten van de tweede soort”. De eerste soort verwees naar de kans dat een correcte waarneming toch verworpen werd, de tweede soort duidde op de orde van grootte van fouten die met een bepaalde kans niet gevonden zouden worden.

Hiermee waren zijn kwaliteitsindicatoren volledig gespecificeerd in de context van de mathematische statistiek. Zijn methode voor het toetsen van de meetgegevens en het specificeren van *interne betrouwbaarheid* was zuiver een uitwerking van de algoritmes van de methode der kleinste kwadraten (KK-methode). In wezen was deze methode bruikbaar voor allerlei toepassingen, ook buiten de landmeetkunde. Alleen de interpretatie van de uitkomsten werd voor geodeten gedaan in het kader van landmeetkundige toepassingen. Overigens was daarbij de berekening van de *externe betrouwbaarheid* natuurlijk afhankelijk van het gekozen coördinatenstelsel, en dus van de keuze van een S-basis.

Datzelfde geldt voor de boven beschreven specificatie van *precisie.* De berekening van de co-variantiematrix van de berekende grootheden werd ook zuiver afgeleid uit de algoritmes van de KK-methode. Criteriummatrices werden als matrix voor de coördinaten berekend, de betekenis daarvan gold dus strikt in de context van landmeetkundige toepassingen.

Ten derde
In de vroegere landmeetkundige praktijk werd bij het ontwerp van een meetopzet vaak gestreefd naar een zo goed mogelijk resultaat, waarbij dan alleen gelet werd op de precisie, zoals weergegeven in de vorm van de co-variantiematrix van de berekende coördinaten. Daarbij werden cirkelvormige (relatieve) standaardellipsen met een kleine straal rond de berekende punten als wenselijk gezien.

Zoals we hierboven zagen, kon nu de eis $\lambda_{max} < 1$ worden gesteld, waarmee de precisie van de berekende coördinaten altijd binnen een van tevoren gesteld criterium viel. Daarnaast kon nu voor het ontwerp van landmeetkundige netwerken een aanvullende eis gesteld, namelijk dat de grenswaarden van de coördinaten onder een bepaalde criteriumwaarde bleven. Dus hier gold de eis van een voldoende goed netwerk. Met de computers, die toen beschikbaar waren, kon een ontworpen netwerk vooraf op deze criteria getoetst worden, dus voordat er werd gemeten. Er werd pas gemeten nadat het ontworpen netwerk voldeed aan de eisen; hetgeen ook weer een aanzienlijke verbetering opleverde in de efficiëntie van het hele meetproces.

3.3 De rol van wiskundige modellen

Baarda werd door zijn voorganger en leermeester Tienstra in contact gebracht met de ideeën van de wiskundigen Gerrit Mannoury en vooral die van David van Dantzig (Molenaar, 2020). Van Dantzig werkte in de eerste helft van de twintigste eeuw bij het Mathematisch Centrum in Amsterdam, en ook aan de TH Delft. Vooral bij het Mathematisch Centrum was hij betrokken

bij de revolutionaire ontwikkeling van de wiskunde in die tijd, zoals beschreven in (Alberts, 2000 a, b en c). Naast Mannoury en Van Dantzig waren daar veel vooraanstaande wetenschappers bij betrokken, zoals de econoom Tinbergen[8], de wiskundige Brouwer en waarschijnlijk ook de natuurkundige Paul Ehrenfest. In ontwikkelingen van die tijd ging de wiskunde een steeds pregnantere rol ging spelen in vele takken van wetenschap, zoals natuurkunde, economie, biologie en techniek. Men werd daarbij, zoals ook hierboven geschetst, steeds nadrukkelijker mee geconfronteerd met het feit dat die wetenschappen altijd uitgingen van waarnemingen, maar dat deze bij herhaling een zekere spreiding bleken te vertonen. De waarnemingsresultaten konden dus niet zonder meer in sluitende wiskundige modellen worden ingevoerd. Dit vormde een probleemveld dat niet direct werd begrepen. Het riep filosofische vragen op over de rol en de toepasbaarheid van de wiskundige modellen in samenhang met de mathematische statistiek, zoals die in de 19de eeuw was ontwikkeld.

Baarda volgde de Kadercursus Statistiek die Van Dantzig in de jaren 1946–47 verzorgde aan de TH (Dantzig, 1947). Deze cursus behandelde de volgende thema's:

a) de betekenis van het stochastische karakter van waarnemingen (metingen),
b) de rol van wiskundige modellen bij de verwerking van de waarnemingen,
c) het in- en uitschakelen van deze modellen bij de verwerking van meetresultaten,
d) de mogelijke situatie waarbij de invoering van meetresultaten tot niet-sluitende modelrelaties leidde als gevolg van:
    1. het stochastische karakter van de waarnemingen,
    2. tekortkomingen van het wiskundige model,
    3. meetfouten.

Waarschijnlijk volgde Baarda ook de cursus die Van Dantzig in de jaren 1945–47 verzorgde aan de TH Delft in het kader van het Studium Generale. Een samenvatting van deze ideeën vindt men in (Dantzig, 1947). Deze ideeën hebben Baarda voor de rest van zijn actieve leven sterk beïnvloed. Met name de hierboven genoemde onderwerpen c) en d) spelen een belangrijke rol in zijn werk. De in- en uitschakeling van wiskundige modellen speelt op twee niveaus:

1. De invoering van een kansmodel voor de beschrijving van de spreiding van meetresultaten.
2. De invoering van een functioneel model voor de relaties tussen fysische grootheden als representatie van de via waarnemingen verkregen beschrijving van de fysieke werkelijkheid.

Goed beschouwd leidde deze benadering tot een relativering van de betekenis van wiskundige modellen in de wetenschap. Modellen waren functioneel voor het beschrijven en begrijpen van fenomenen in de echte, bestudeerde, wereld voor zover deze modellen aansloten bij de gehanteerde methode van meten. Verbeterde men de manier van meten, dan kon het zijn dat dan ook de wiskundige modellen moesten worden aangescherpt. In de landmeetkunde betekende dit bijvoorbeeld dat bij de gekozen meetmethodiek over een beperkt gebied, men de aarde als vlak kon beschouwen, zodat de vlakke meetkunde toepasbaar was. Bij een verhoogde precisie van metingen over een groter oppervlak, aangevuld met astronomische waarnemingen, kon de kromming van de aarde zich doen voelen. Dat vereiste dan aanpassing van de

[8] Een bij Paul Ehrenfest gepromoveerd fysicus die later als econoom de Nobelprijs won.

gehanteerde meetkundige modellen.

We hebben hierboven al gezien dat bij het ontwerp van meetnetwerken werd afgestapt van de eis dat die “zo nauwkeurig mogelijk” moesten zijn. Baarda herformuleerde die eis tot “voldoende goed”; nu kon een dergelijke eis ook voor de toepasbare wiskundige modellen gesteld worden. Die modellen moesten niet langer “waar” of “correct” zijn, maar ze moesten bruikbaar zijn, dus “voldoende goed”. Meetmethodes en verwerkingsmodellen voor de waarnemingen moesten in samenhang gekozen worden; dat wil zeggen dat ze op de toepassing afgestemd moesten zijn. Dit was weliswaar een verstandige ingenieurs-benadering, maar die had tevens tot gevolg dat in sommige gevallen ook het gebruikte wiskundige model getoetst moest worden om te zien of dat aansloot bij de metingen. Ook voor deze toets bevatte de bovengenoemde Fischergrootheid – die uit de correcties op de waarnemingen werd berekend – de relevante informatie.

4 Het toenmalige beeld van de toekomst

4.1 Ingenieur en maatschappij

In het jaar dat ik mijn studie in Delft aanving, in 1967, kwam in Amerika een brede heftige onrust op gang, vooral onder de naoorlogse generatie van de babyboomers. Deze onrust kwam voort uit een brede maatschappelijke onvrede, mede door het toenemende verzet tegen de oorlog in Vietnam. Het leidde vaak tot onlusten die gewelddadig onderdrukt werden. Het duurde niet lang voor de vonk oversloeg naar Europa; hetgeen in mei 1968 leidde tot gewelddadige onlusten in Parijs en ook in Berlijn. In Nederland sprong het vuur in eerste instantie over naar de “Kritiese Universiteit” in Nijmegen, al snel gevolgd door de Universiteit van Groningen. En Amsterdam volgde met de bezetting van het Maagdenhuis.

In Delft ging het er wat rustiger aan toe, maar binnen de onderafdeling Geodesie leidde deze beweging tot discussies waarin we ons druk maakten over zaken als het onrecht in de wereld, de problematiek van de ontwikkelingslanden, de oorlog in Vietnam, de milieuvervuiling, en nog veel meer. Vooral het “kapitalistisch imperialisme” en “de technocraten” waren de grote schuldigen van alles wat er mis was. Een goede reden voor ingenieurs om zich te bezinnen op wat ze nou eigenlijk aan het doen waren.

Er werden discussiegroepen gevormd om na te denken over de maatschappelijke betekenis van de geodesie. En daarop volgde de vraag wat dat betekende voor het werk van de geodeet en diens opleiding. Uiteraard moest de ingenieur veel meer maatschappelijk betrokken zijn, en dat dan vooral met een gepaste linkse oriëntatie. In de opleiding moesten vakken ingevoerd worden die de student hierop voorbereidden, met name vakken als sociologie en filosofie. Projectonderwijs zou de student inzicht geven in de aard van groepsprocessen. En het werken in een multi-disciplinaire omgeving zou de student leren te begrijpen wat de maatschappelijke rol van geodeten is ten opzichte van andere beroepsgroepen.

Voor de beroepsvereniging, de Nederlandse Landmeetkundige Federatie, werd onder de naam “Geodeet In Perspectief” een werkgroep gevormd, die de problematiek vanuit de beroepspraktijk zou benaderen. De studievereniging “Snellius” van de Delftse geodesiestudenten, gaf om de vijf jaar een lustrumboek uit. Daarin werd dan een blik gegeven op de ontwikkelingen in het onderzoek en de praktijk van de geodesie. De uitgave van 1970

was een neerslag van de vooral maatschappelijk georiënteerde ontwikkelingen (Molenaar e.a., 1970).

Hierbij zij nog opgemerkt dat Baarda binnen de onderafdeling Geodesie een belangrijk stempel drukte op de discussies. Hij ging heel ver mee in het democratiseringsdenken van die tijd en ondersteunde ook de invoering van maatschappijgerichte vakken in de opleiding. Zelf zag hij daarbij een rechtvaardiging vanuit zijn eigen werk binnen de context van de hierboven genoemde Delftse School. De geodeet moest in zijn optiek aan "de maatschappij" vragen waarvoor zijn metingen nodig waren en welke kwaliteitseisen daarmee verbonden waren. Die wensen moest hij dan vertalen in waarden voor de parameters van Baarda's kwaliteitscriteria. Al met al zag hij dit dan als een maatschappelijke doelgerichte en verantwoordde benadering. Deze hele benadering had uiteraard een nogal eng perspectief, omdat een maatschappelijke vraag moeilijk met een paar parameters verwoord kan worden, maar zeker ook omdat het betrekking had op een beperkt deelgebied van de geodetische beroepspraktijk.

Vanuit het technische en mathematisch-fysische deel van de onderafdeling Geodesie was men verder niet zo druk bezig met die maatschappelijke vraagstellingen. Bij de zogenoemde Planologische Geodesie speelden die echter wel een duidelijke rol vanwege de betrokkenheid van geodeten bij ruilverkavelingen en land- en stadsinrichtingsprojecten.

4.2 Technologie: "*Iedere verandering is een ontwrichting van de Dienst*"

Opvallend is dat die discussies over de toekomst van de geodesie vooral gingen over de maatschappelijke betrokkenheid van de geodetisch ingenieur. Daarbij had men in die tijd, zoals gezegd, sterk de neiging om uit te gaan van een nogal linksgeoriënteerd maatschappijbeeld. Er was weinig oog voor de toen al zichtbare technologische en wetenschappelijke ontwikkelingen, die ingrijpende maatschappelijke veranderingen teweeg zouden gaan brengen; en die ook bepalend zouden worden voor fundamentele veranderingen in het eigen vakgebied. Het beroepsveld van de geodeet was toen nog zeer traditioneel georiënteerd; en in de opleiding werd niet vooruit gezien naar ontwikkelingen die al snel zouden komen. Men had daarvan blijkbaar nog geen idee. In het hiernavolgende beschouw ik weer vooral de technische, mathematisch-fysische kant van de geodesie.

In de toenmalige praktijk werkte men met landmeetkundige en fotogrammetrische instrumenten (*Fig.1 en 2*) die lange tijd meegingen, zodat investeringstermijnen lang waren en werkprocessen weinig veranderden. Organisaties kenden relatief lange tijd nauwelijks de noodzaak tot reorganisaties of institutionele herinrichting. Een investerings- en planningshorizon van zo'n 20 jaar leek toen nog redelijk. Daardoor ging het beroepsbeeld dat we als jonge geodeten meekregen nog altijd uit van het kaartparadigma. De toestand op het aardoppervlak werd vastgelegd en weergegeven in kaarten. De rol van de computer werd vooral gezien vanuit het de mogelijkheid om complexe rekenprocessen uit te voeren. Er waren echter al duidelijke signalen dat de computer een verdergaande rol zou gaan spelen op het gebied van de ruimtelijke informatieverwerking. Maar geodeten waren wat dat betreft toen vooral nog geïnteresseerd in de aansturing van elektronische tekentafels. Dat daartoe ruimtelijke gegevens in digitale vorm moesten worden aangeboden, leidde nog niet tot de vraag of deze digitale gegevens zelf een rol zouden kunnen spelen bij het behandelen van ruimtelijke problemen.

In de groep Planologische Geodesie van Theo Bogaerts werd in het begin van de jaren '80 pas

de problematiek van de vastgoedinformatie opgepakt (Bogaerts, 2012), maar ook toen werd er aan de bredere mogelijkheden van geo-informatieverwerking nog lange tijd geen aandacht besteed. In de vakliteratuur werden echter al wel artikelen over de vragen en mogelijkheden van geo-informatie gepubliceerd. De vijfjaarlijkse lustrumboeken van het gezelschap Snellius gaven een indruk van het zicht dat studenten, en ook hun docenten, hadden op de belangrijke ontwikkelingen in het vakgebied. Pas in het lustrumboek van 1990 verscheen er voor het eerst een artikel over de stand van zaken en de ontwikkelingen rond geo-informatieverwerking. Dat artikel was van de hand van Dick Groot, een Nederlandse geodeet die al lange tijd in Canada werkzaam was. Hij beschreef vanuit zijn Canadese ervaringen wat de betekenis van die ontwikkelingen waren voor het geodetische werkveld (Groot, 1990). Uit deze nogal late publicatie in het lustrumboek van Snellius, mag je wel afleiden dat men in de tijd van mijn opleiding in Delft er daar nog totaal geen idee van had dat de door Groot geschetste ontwikkelingen eraan gingen komen.

Een vergelijkbare situatie gold voor het toen opkomende nieuwe veld van de remote sensing. Eind jaren ‘60 en begin jaren ‘70 werden nieuwe waarnemingssystemen door militairen vrijgegeven, waaronder beeldvormende radaropnamen, om te onderzoeken of die bruikbaar waren voor civiele toepassingen. Daartoe behoorden mogelijkheden voor bijvoorbeeld de kartering van bossen in sterk bewolkte gebieden, en de kartering van zeeijs. De eerste weersatellieten waren al door NOAA gelanceerd en sinds 1970 beschikbaar om te onderzoeken of die gebruikt konden worden voor de kartering van landgebruik in slecht gekarteerde regio's. In 1972 zou daartoe ook de eerste satelliet in de latere Landsatserie van de NASA gelanceerd worden. Eerder werden al proeven genomen met scanneropnamen uit vliegtuigen. Op het ITC, de directe buren van Geodesie aan de Kanaalweg in Delft, had men al lange tijd ervaring met de interpretatie van luchtfoto’s voor velerlei toepassingen; en vanuit die achtergrond was er grote belangstelling voor de mogelijkheden van deze nieuwe technieken. Als studenten bij Geodesie hebben we toen echter nooit ervaren dat men op de Onderafdeling daar ook maar enigszins van op de hoogte was. Hoewel er in de wandelgangen wel eens iets werd gezegd over de toekomstige mogelijkheden van “ruimte-cartografie”, werd er niets over verteld in de colleges.

Bij de andere buren van Geodesie, de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat, experimenteerde men met nieuwe plaatsbepalingstechnieken voor grote kustwerken, zoals de Deltawerken en de aanleg van de Eerste en Tweede Maasvlakte. Maar ook deze ontwikkelingen kregen nauwelijks aandacht in het onderwijs; en hetzelfde gold voor de toen nog experimentele plaatsbepaling met Dopplersatelliet-metingen, een voorloper van GPS. In de marge van het onderwijs werd wel eens gesuggereerd dat we in de toekomst op een horloge onze plaats op aarde zouden kunnen aflezen, maar daarbij werd niet vooruitgekeken naar wat deze ontwikkelingen inhielden en wat deze voor het beroepsveld zouden gaan betekenen.

In de eerdergenoemde werkgroep “Geodeet in Perspectief”, en de symposia waarin de bevindingen ervan werden besproken, zocht men naar de “kern” van de geodesie. Die heeft men nooit scherp kunnen duiden. Bovendien leidde het zoeken naar die kern eerder tot een oriëntatie op het traditionele werkveld van de geodeet, dan tot een open blik op de toekomst. In de landmeetkundige praktijk was er toen nog een brede groep van organisaties die niet erg in vernieuwing geïnteresseerd leken. Er werd zelfs met nogal wat reserve gekeken naar het onderzoek dat in Delft werd verricht, waarbij met name het onderzoek van de Delftse School

veelal niet werd begrepen. Dat werd gezien als academisch gedoe, en men had geen behoefte aan ingenieurs met nieuwe ideeën. Kortom: Delft kon maar beter goede traditionele praktijkgerichte ingenieurs afleveren.

Tekenend voor deze behoudende instelling was de ervaring van mijn goede vriend Paul van der Molen. Na zijn studie trad hij in dienst bij een van de regionale kantoren van het Kadaster. Na zijn eerste ervaringen vertelde hij de directeur dat een aantal werkprocessen bij de dienst gemoderniseerd zouden kunnen worden op basis van wat hij in Delft geleerd had, want daarmee kon naar zijn mening efficiëntiewinst gehaald worden. Het antwoord daarop was: "*Mijnheer Van der Molen, iedere verandering is een ontwrichting van de Dienst*". Deze houding bleek exemplarisch voor een groot deel van de beroepspraktijk begin jaren '70. In ieder geval leek men toen nergens oog te hebben voor het feit dat we op de drempel naar een nieuwe tijd stonden; een tijd waarin op ruimtelijke informatie gerichte beroepsgroepen binnen twee decennia gedwongen zouden worden hun werkwijzen drastisch te veranderen.

5 Mijn promotieonderzoek en de afsluiting van een tijdperk

5.1 Ik word fotogrammeter?

In 1973 ging ik voor het eerst bij het ITC werken. Naar later bleek was dit geregeld in een onderonsje tussen mijn Delftse leermeester Willem Baarda en de toenmalige rector van het ITC, Anton van der Weele. Zij waren goede vrienden en spraken af dat ik de Delftse ideeën zou toepassen op de fotogrammetrie. Die ideeën waren echter uitgewerkt voor landmeetkundige netwerken in het platte vlak, dus voor (x,y)- coördinaten. De fotogrammetrie daarentegen leverde driedimensionale terreinbeschrijvingen, dus in (x,y,z)-coördinaten. Daarom was een omzetting van de Delftse ideeën nodig naar 3D toepassingen.

Op het ITC kreeg ik contact met Cor van den Hout. Hij was een ervaren fotogrammeter en had bij de Topografische Dienst van Nederlands-Indië gewerkt en bij de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat, de MD-RWS. Tijdens zijn werk bij deze organisaties ontwikkelde hij zich als een expert in de fotogrammetrie.

> ***Terzijde***
> *Hij had in de vroege jaren '60 de Anblock-methode ontwikkeld. Dat was een elegante methode om grote blokken van uitgewerkte stereomodellen aan elkaar te rekenen. Deze ontwikkeling stamde uit de tijd dat de introductie van computers voor civiel gebruik net op gang kwam. Daarom was deze methode een eerste aanzet om de verwerking van luchtfoto's rekenkundig te ondersteunen. Het was dan ook nog methode met beperkingen. Een voorwaarde was namelijk dat het te karteren terrein tamelijk vlak was en dat de stereomodellen zo goed als horizontaal lagen. Later heeft Fritz Ackerman, nadat hij ITC verliet en hoogleraar werd Stuttgart, deze methode verder uitgewerkt en is daar groot geworden met de rekenprogramma's PATM en PATM3.*

Ik heb veel van Van den Hout geleerd en hij was op zijn beurt geïnteresseerd in mijn benadering vanuit het perspectief van de Delftse school. Wij ontwikkelden een hechte relatie waarin hij zich ontpopte als mijn mentor. Op grond van de inzichten die ik in de gesprekken met hem opdeed, probeerde ik de gangbare formules voor de relatie tussen beeldpunten op luchtfoto's

en de overeenkomstige terreinpunten in quaternionenalgebra[9] te herschrijven. Dat kon op zich wel, maar bij de berekeningen waarin deze relaties voor meerdere foto's tegelijk werden doorgerekend, de zogenaamde bundelblokvereffening, bleek ik telkens terug te vallen op de eenvoudigere vectoralgebra. Maar mijn formuleringen bevatten wel minder onbekende grootheden dan bij de traditionele fotogrammetrische aanpak. Dit betekende dat er voor die weggevallen grootheden geen benaderde waarden hoefden te worden ingevoerd om de berekeningen te kunnen starten. Bovendien kwamen die berekeningen hierdoor sneller tot een eindoplossing (Molenaar, 1982 en 2020).

Terzijde
Cor van den Hout had tijdens zijn werk in Nederlands-Indië en bij de MD-RWS een goede relatie opgebouwd met Willem Schermerhorn[10] en hij had nog vaak contact met hem. Hij had Schermerhorn over mijn werk verteld, zoals bleek toen die mij bij een bezoek aan het ITC in 1976 een keer aansprak. Dat ging als volgt:
S: Zo, wie ben jij?
M: Ik ben Martien Molenaar professor.
S: Oh, jij bent dat vriendje van Baarda.
M: Als u dat zo wilt noemen professor.
S: Nu, dan moet jij goed oppassen jongeman, want als je zo doorgaat kun je alleen nog maar hoogleraar in de wiskunde worden!
M: Dat lijkt me inderdaad vreselijk professor.

5.2* De aanpassing van de Delftse ideeën voor 3D netwerken

Na wat verkennende onderzoekslijnen, zoals die hierboven beschreven, besloot ik het Delftse concept van S-transformaties en criterium-matrices om te zetten voor 3D toepassingen. Deze keuze had een voorgeschiedenis in mijn Delftse tijd. Ik was toen onder andere bevriend geraakt met Herman Quee, die een paar jaar voor mij aan de studie was begonnen. Hij werkte in zijn laatste jaar aan een opdracht van Baarda om zijn methode voor de analyse van de structuur van 2D netwerken uit te breiden naar een analyse van 3D netwerken. Hij zou dit onderwerp later verder uitwerken in zijn proefschrift (Quee, 1983). Op verzoek van Baarda zou hij de analyse van 3D netwerken baseren op het gebruik van quaternionen., zie boven. Tijdens onze vele contacten, en vooral ook gedurende onze voettochten in de bergen van Noorwegen, heeft hij me de principes van de quaternionenalgebra uitgelegd. Dat inspireerde mij om ook een afstudeeropdracht in dat thema aan te pakken. In opdracht van Baarda schreef ik een scriptie

[9] Quaternionen vormen een uitbreiding van complexe getallen. Quaternionen zijn 4D grootheden waar complexe getallen 2D grootheden zijn. Voor complexe getallen geldt dat C1xC2 = C2xC1, maar voor quaternionen geldt niet dat Q1xQ2 = Q2xQ1. Dat maakt de quaternion-algebra een stuk complexer en veel minder elegant dan de algebra der complexe getallen. Bovendien beschrijven we een 3D ruimte met 4D grootheden. Zie ook (Molenaar, 2020)

[10] Prof Schermerhorn was in Delft tot in de Tweede Wereldoorlog hoogleraar in de geodesie en fotogrammetrie. Na de Oorlog was hij korte tijd de eerste minister-president van het bevrijde land. Later leidde hij de Nederlandse delegatie bij de onderhandelingen met de Indonesiërs over de onafhankelijkheid van Nederlands-Indië. In 1950 stichtte hij het ITC.

over de geometrie van de plaatsbepaling met dopplersatelliet-metingen[11] in termen van quaternionen (Molenaar, 1972).

Mijn afstudeerwerk gaf mij een eerste inzicht in de wijze waarop een ruimtelijke S-basis geformuleerd moest worden en hoe men die in quaternionen kon uitdrukken. In mijn promotieonderzoek heb ik dit verder uitgewerkt en ook de formules afgeleid om een coördinatenstelsel van één S-basis om te rekenen naar een andere, de zgn. S-transfomatie. Daarnaast moest het concept van de criteriummatrices, zoals dat voor het platte vlak was geformuleerd, ook uitgebreid worden naar 3D[12]. De 2D-matrix gaf altijd cirkelvormige (relatieve) standaardellipsen. Daarom ging Baarda er vanuit dat de 3D matrix altijd bollen moest genereren, dus dat de kwaliteitseisen voor alle drie de x,y,z coördinaten hetzelfde moest zijn. Ervaringen met uitgebreide landmeetkundige netwerken en fotogrammetrische blokken toonden aan dat de nauwkeurigheid van hoogtegegevens (z) meestal minder was dan die van de horizontale (x,y)-coördinaten. Mijn criteriummatrix voor ruimtelijke 3D-netwerken hield daar rekening mee, dus de nauwkeurigheidseis voor de hoogte kon afwijken van die van de horizontale coördinaten. Bovendien hield mijn criteriummatrix rekening met de aardkromming, zodat de hoogterichtingen, en dus ook de ligging van het lokale horizontale vlak, meebogen met de aardkromming. Op dit punt bleven Baarda en ik verschillen van inzicht houden, maar uiteindelijk accepteerde hij mijn formulering wel voor het proefschrift.

Terzijde:
Een essentieel verschil tussen de 2D en 3D is het volgende: In een 2D-situatie liggen alle combinaties van drie punten, zoals die van twee S-basispunten en een willekeurig ander punt i, allemaal in hetzelfde vlak. Dus daar is ieder (x,y)-coördinatensysteem volledig gedefinieerd indien de coördinaten van de twee punten van een S-basis gegeven zijn. In een 3D-situatie is dat niet zo, want daarin geven de coördinaten van twee punten r,s een onvolledige definitie van een (x,y,z) -stelsel. De vlakken gedefinieerd door puntcombinaties r,s,i kunnen om de as r,s draaien. Indien nu de normaal van (de richting loodrecht op) het vlak van een puntcombinatie r,s;t vastgelegd wordt, dan kan de draaihoek van de normaal op ieder ander vlak t.o.v. deze eerste normaal bepaald worden uit geodetische metingen. Dus voor een 3D S-systeem moet een S-basis r,s;t gekozen worden. Hierin heeft het punt t een andere rol dan de punten r en s. Dit wijkt af van de 2D-situatie waarin de basispunten r en s altijd dezelfde rol hebben in de specificatie van een S-stelsel. Hierin ligt ook de reden besloten waarom de formulering van de 2D-situatie met complexe getallen eleganter is dan de formulering in 3D met quaternionen.

Dit verschil betekende ook dat de wens van Baarda, dat in 3D de criteriummatrix altijd bollen zou genereren, niet werkte. De ongelijke rol van de basispunten zou er toe leiden dat deze bol voor het basispunt t zou worden platgeslagen tot een cirkel in het vlak r,s;t. In andere punten zou de matrix dan ellipsoïden geven, dus geen bollen.

---

[11] Dopplersatellieten zijn voorlopers van GPS, maar met GPS worden afstanden tussen de satelliet en een punt op de grond gemeten, terwijl met Dopplersatellieten de afstandsverschillen tussen twee opeenvolgende satelliet posities en een punt op de grond werd gemeten.

[12] In mijn proefschrift heb ik me alleen gericht op het precisie aspect van de nauwkeurigheid van metingen en coördinaten, omdat toetsprocedures en interne betrouwbaarheid voor alle KK-schatters niet afhankelijk zijn van het S-stelsel, alleen de externe betrouwbaarheid van coördinaten is dat. Een criteriummatrix is in de toepassing uiteraard wel afhankelijk van het gekozen S-stelsel.

Het hier geconstateerde verschil tussen 2D en 3D bleek een waarschuwing voor de latere formulering van een topologisch model voor de 3D-situatie.

5.3 Tijd voor wat anders

De methodiek van de Delftse School slaat op zichzelf terug

Ik was vanaf mijn studietijd geïntrigeerd door het themaveld van de Delftse School. De traditionele leerboeken behandelden voor allerlei onderscheiden landmeetkundige situaties afzonderlijke meetconfiguraties en berekeningsmethodes, zonder een duidelijke samenhang. Op basis van structurele netwerkanalyses en van methoden uit de mathematische statistiek, waren die nu door de Delftse School vervangen door één samenhangende methodiek. Dat was een grootse prestatie waarmee, zoals hierboven al opgemerkt, de vigerende ambachtelijke praktijk van de landmeter omgezet werd in een wetenschappelijk gefundeerde werkwijze. Ik vond dit een veld met een uitdagende wetenschappelijke vraagstelling en ik heb in dat kader dan ook veel plezier beleefd aan het onderzoek voor mijn promotie.

Bij de afronding van mijn proefschrift kwam de vraag op of het zinvol zou zijn om deze onderzoekslijn nog verder door te zetten. Zou het mogelijk zijn om de criteriummatrix, die meeboog met de bolvorm van de aarde, nog aan te scherpen tot een matrix die meeboog met een afgeplatte bolvorm, dus met de ellipsoïde? Proefberekeningen toonden aan dat voor relatief grote gebieden, van ca. 500x500 km^2, het effect van de aardkromming op mijn criterium-matrix gering was. Indien we voor zo'n gebied de matrix voor horizontale coördinaten, die was afgeleid uit mijn criteriummatrix, vergeleken met die van Baarda voor het platte vlak, dan bleken de verschillen verwaarloosbaar te zijn. Daaruit concludeerde ik dat de verdere verfijning van de methode, teneinde van de kromming van de bol te kunnen overgaan op die van een ellipsoïde, niet zo zinvol leek.

De benadering van de Delftse School was niet alleen behulpzaam gebleken om te kunnen bepalen of een bepaalde meetopzet goed genoeg was, maar ook of het gehanteerde functionele model goed genoeg was. En nu bleek onverwacht dat ze ook op zichzelf terugsloeg, zodat je kon zien of die benadering op zichzelf voldoende ver ontwikkeld was. Deze resultaten van die proefberekeningen zijn nooit goed gepubliceerd. Onderzoek deed je vooral uit nieuwsgierigheid. We wilde dingen weten, ons begrip verdiepen. Als we snapten hoe iets zat, deelden we onze bevindingen vaak informeel met collega's, en brachten we de nieuwe inzichten in bij het onderwijs, om ons vervolgens weer te richtten op andere vragen.

Een hermetische benadering

Het feit dat bij de TH de inleiding in de KK-methode speciaal voor geodeten werd gegeven, was weliswaar doelgericht maar toch ook nogal schraal. Ik heb me later breder in de mathematische statistiek verdiept. Toen pas werd het me duidelijk dat de met de KK-methode berekende grootheden zogeheten "beste lineaire zuivere schatters" zijn; ook wel aangeduid met "maximum likelihood schatters". Dat betekent dat de varianties van deze schatters, en van alle functies daarvan, kleiner zijn dan varianties die verkregen zijn uit alle andere mogelijke berekeningsmethodes. Baarda's toetsprocedures, zoals beschreven onder **3.2 *ten tweede***, konden in die context worden uitgelegd als speciale vormen van zgn. "best tests" of "most powerful tests" (Molenaar, 2020).

Bovendien werd er altijd vanuit gegaan dat landmeetkundige meetprocessen normaal, of Gaussisch verdeelde resultaten gaven, en ook dat alle uit die resultaten berekende grootheden

dat karakter hadden. Door hier strak aan vast te houden was men in eerste instantie niet bereid om aandacht te geven aan de in de jaren ’80 opkomende andere statistische methodes, zoals robuuste schatters. Deze bleken voor veel toepassingen zeer geschikt om snel (meet-)fouten op te sporen en om de effecten van dergelijke fouten te beperken.

Al met al had de bovengeschetste benadering van de Delftse School een wat hermetisch karakter. De vereffeningsmethode met de KK-methode werd behandeld vanuit de formulering van voorwaardenvergelijkingen voor de waarnemingen. Deze benadering werd in het onderwijs direct gekoppeld aan de structurele beschrijving van landmeetkundige netwerken met behulp van complexe getallen. De evaluatie van de kwaliteit van meetresultaten in termen van precisie, met inbegrip van S-stelsels, en van betrouwbaarheid werd behandeld aan de hand van voorbeelden van dergelijke netwerken. In deze samenhang zijn de concepten van de Delftse School ontwikkeld. In deze benadering leek alles onlosmakelijk met elkaar samen te hangen. Mede daardoor ontstond in de gemeenschap van de Delftse School een neiging om alles wat in deze benadering paste als wetenschappelijk te beschouwen, en alles wat erbuiten leek te vallen niet. In ieder geval moest ik me later wel bevrijden van deze beperkende sfeer.

De groeiende behoefte om een breder onderzoeksveld aan te pakken

In 1983 verliet ik het ITC om de leerstoel “Landmeetkunde en Teldetectie” aan de Universiteit van Wageningen te bekleden. Hoewel landmeetkunde als eerste deel van de leeropdracht werd genoemd, was wel duidelijk dat de teledetectie, i.e. remote sensing, het belangrijkste aandachtsveld voor het onderzoek zou worden. Al snel bleek ook dat de geografische informatieverwerking in nauwe samenhang met de remote sensing als een belangrijk thema daarbij zou komen. Bij deze onderwerpen lag ook de belangrijkste behoefte voor de ontwikkeling van nieuw onderwijs.

In mijn begintijd in Wageningen kreeg ik nog veel uitnodigingen voor gastcolleges, zoals aan de universiteiten van München, Bonn en Helsinki. Daarnaast werd ik gevraagd om *keynote addresses* te geven op internationale congressen. Met mijn vriend en collega Wolfgang Förstner verzorgde ik het eerste tutorial in het kader van de ISPRS[13]. Dit tutorial had de ideeën van de Delftse School als onderwerp[14]. Bij al deze activiteiten, en ook uit persoonlijke contacten, bleek overigens dat buitenlandse (fotogrammetrische) collega’s vooral geïnteresseerd waren in Baarda’s toetsprocedures en zijn concept van betrouwbaarheid; men bleek echter niet zozeer geïnteresseerd in de ideeën over S-stelsels en criterium-matrices.

Daarnaast ervoer ik, dat in de internationale gemeenschap van onderzoekers op dit themaveld telkens nieuwe formuleringen werden gepubliceerd voor het vereffenen van geodetische metingen, en voor de kwaliteitsevaluatie daarvan, zonder dat deze iets essentieels toevoegden m.b.t. de feitelijke werkprocessen van de geodeet en de fotogrammeter. Het onderzoek leidde meer en meer tot een voortdurende herformulering van ideeën dan tot enige echte vernieuwing of wezenlijke vooruitgang. Ik ervoer deze ontwikkeling steeds meer in de termen van Lakatos als een degenererend onderzoeksveld. (Lakatos, 1978).

[13] De International Society for Photogrammetry and Remote Sensing

[14] Later zouden tutorials over tal van onderwerpen regulier onderdeel worden van ISPRS symposia en congressen.

Bovengenoemde bevindingen leidden ertoe dat ik dit werkveld na verloop van tijd als te beperkend begon te ervaren. Eigenlijk was de waarschuwing van Schermerhorn wel tot me doorgedrongen. Bovendien dienden zich snelle veranderingen aan, want door de opkomst van zelfregistrerende “total stations” en GPS veranderde het landmeetkundige werk van karakter, zodat andere beroepsgroepen landmeetkundig werk gingen doen, maar steeds vaker zonder een training in de ideeën van de Delftse School. In de fotogrammetrie verschoof de aandacht in het onderzoek, en ook in de praktijk, van de aerotriangulatie naar de ontwikkelingen op het gebied van computer-vision, en naar toepassingsmogelijkheden daarvan voor het automatisch karteren van topografische objecten. Zowel voor de landmeetkunde als voor de fotogrammetrie kwam software op de markt waardoor de verwerking van meetgegevens, die vaak automatisch waren ingewonnen, “verdween” in de computer. Daardoor raakten het verwerkingsproces en de eventuele kwaliteitscontroles verborgen voor de gebruiker; deze kreeg alleen eindresultaten te zien met eventuele indicaties van fouten, maar zonder dat die gebruiker goed hoefde te begrijpen hoe die resultaten verkregen waren. Daarmee verdwenen de onderwerpen, waarmee de Delftse School zich bezighield uit het zicht van de gebruiker, dus uit het zicht van praktiserende landmeters en fotogrammeters.

Het werd tijd om mijn aandachtsveld te verbreden, en dat zou snel gebeuren. Maar een belangrijke les, die ik van Baarda heb geleerd, zou richting blijven geven aan mijn toekomstige werk. Deze les had hij getrokken uit de discussies waar hij in de jaren ’50 bij betrokken was. Die werden gevoerd in verband met de eerste grote aanschaf van een computer door de TU-Delft; toen nog de Technische Hogeschool. Baarda zegt hierover in (Baarda, 1977):

> *In that period there were consultations with the mathematician R. Timman concerning the establishment of a computer centre for the Delft University of Technology. We both held the view that independent programming of existing methods was the easiest but also the least efficient way to introduce automation. It was better to consider existing methods as variants of a basic pattern which should be as simple as possible, and concentrate on the programming of this pattern. In addition, it was required to limit the volume of the output by the choice of suitable parameters. In other words: programming should be preceded by model research.*

DEEL II DE WORDING VAN EEN GEO-INFORMATICUS

6. De Aanloop

6.1 ITC en de opkomst van de remote sensing

Zoals eerder gesteld ging ik in 1973 werken bij de afdeling Fotogrammetrie van het ITC in Enschede *(Fig. 5)*. Deze afdeling was vooral gericht op geometrische verwerking van luchtfoto's, met name voor topografische karteringen. Daarnaast waren er andere afdelingen die zich bezighielden met luchtfoto-interpretatie. Het ging daarbij vooral om de thematische inhoud van luchtfoto's ten behoeve van toepassingen zoals: vegetatiekartering, bodemkartering, landgebruiksplanning, stedelijke planning, en toepassing in de aardwetenschappen. Deze afdelingen kregen al in het begin van de jaren '60 belangstelling voor het gebruik van infraroodfoto's en andere luchtverkenningstechnieken die in en na de Tweede Wereldoorlog voor militaire doeleinden waren ontwikkeld (Disco, 2010). In die tijd kregen enkele geselecteerde stafleden van het ITC radaropnamen ter beschikking – zoals in *Fig.6*, om te bezien hoe die voor civiele karteringsdoeleinden konden worden gebruikt. Dergelijke beelden waren destijds nog militair geheim.

Fig. 5: ITC, Boulevard 1945, Enschede

In 1971 stelde het Ministerie van OCW een budget beschikbaar voor de inrichting van de "Netherlands Interdepartemental Working Group for Applied Research on Remote Sensing" (NIWARS). Bij de aanvraag van dit budget werd ITC de penvoerder voor een grote groep betrokken instellingen. Daarnaast raakte ITC door haar contacten in de VS ook al snel betrokken bij het onderzoek naar de gebruiksmogelijkheden van beelden van de eerste satelliet die behoorde tot de latere Landsat serie. Een van die contacten was Fred Doyle. Hij behoorde tot de eerste groep studenten die 1951 een opleiding volgde aan het ITC. Later zou hij een belangrijke rol spelen bij de ontwikkeling van het remote sensing programma van de NASA.

Bij het ITC was men zich al vroeg bewust van deze ontwikkelingen. In 1969 verscheen een notitie van een groep onder leiding van de fysicus Sikke Hempenius, waarin werd gesteld dat

de remote sensing leidraad moest zijn van het ontwikkelingsplan van het instituut voor de komende jaren. De luchtfoto, die traditioneel centraal stond in het werkveld van het ITC, werd hiermee naar de tweede plaats verwezen (Disco, 2010).

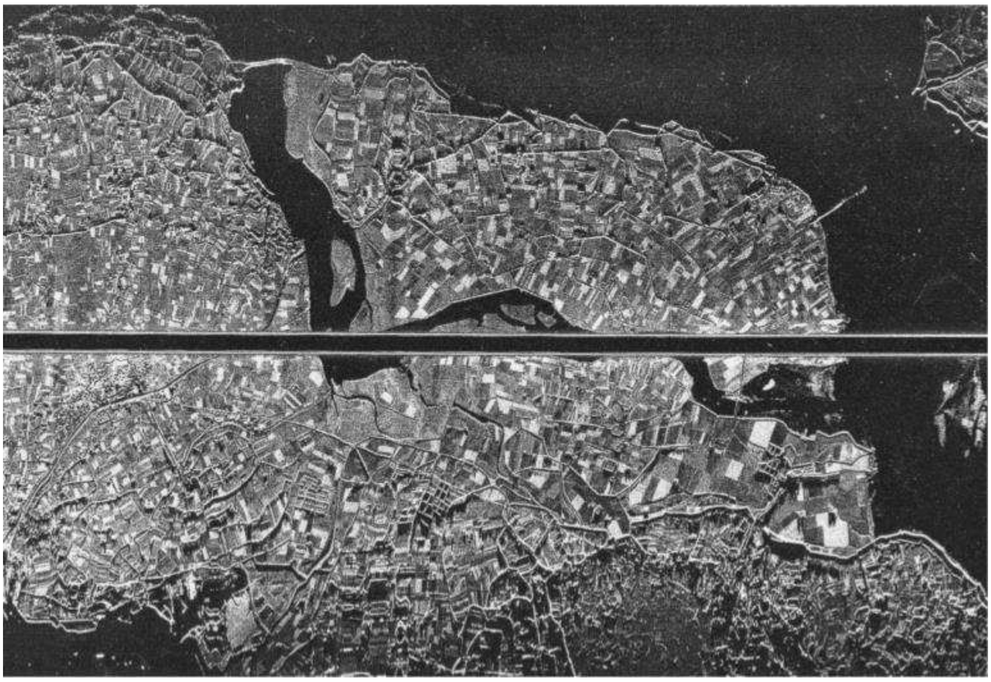


Fig. 6: Radaropname van Noord- en Zuid-Beveland, 1964

Deze nieuwe ontwikkelingen waren volop aan de gang toen ik bij het ITC kwam. Men maakte toen al gebruik van de Amerikaanse NOAA-beelden, die een grondresolutie hadden van ca 1x1 km^2. In 1972 werd de eerste satelliet gelanceerd van de latere Landsat serie. Spoedig daarna kwamen deze beelden beschikbaar voor civiele toepassingen. Bij het ITC was daar onmiddellijk een grote belangstelling voor, want men wilde onderzoeken wat de gebruiksmogelijkheden waren voor de doellanden van het instituut. Vanuit de afdeling Fotogrammetrie was hiervoor echter weinig of geen belangstelling. De reden daarvoor was dat men al snel tot de conclusie kwam dat de toen beschikbare RS-technieken niet de geometrische nauwkeurigheid leverden die door fotogrammeters werden geëist voor topografische karteringen. Ik realiseerde me later dat deze houding vergelijkbaar was met wat ik eerder bij de Afdeling Geodesie in Delft had ervaren. Bij de afdeling Fotogrammetrie van het ITC was er echter een uitzondering in de persoon van Franz Leberl. Hij had de kamer naast de mijne, en daar ontwikkelde hij technieken om radarbeelden te gebruiken voor karteringsdoeleinden. Zijn technieken werden in het Amazonegebied gebruikt, omdat luchtfoto's daar over het algemeen niet bruikbaar waren vanwege het permanente dichte bewolkingsdek.

6.2 Een eerste kennismaking met de Remote Sensing

Tijdens gesprekken aan de koffietafel op het ITC kreeg ik stukje bij beetje te horen wat er op dit gebied speelde, en dat intrigeerde me. Ik schoof in de koffie- en lunchpauzes vaak aan bij collega's van andere afdelingen, om te horen wat hun vakgebieden inhielden en waar ze mee bezig waren. Een belangrijke voortrekker op het gebied van de remote sensing was de eerdergenoemde fysicus Sikke Hempenius, hij had toen in de persoon van Nanno Mulder, ook een fysicus, een jonge medewerker aangetrokken die gelijk met mij op het ITC was gekomen.

De meeste collega's keken vooral naar de gebruiksmogelijkheden van RS in hun eigen vakgebied. Zij hadden ervaring met de interpretatie van luchtfoto's en behandelden RS-beelden vaak op dezelfde wijze, dat wil zeggen dat ze die vooral visueel interpreteerden. Hempenius en Mulder zochten vanuit hun fysische achtergrond naar de mogelijkheden om digitale beeldverwerkingstechnieken toe te passen voor de analyse van RS-beelden, teneinde daarmee het gebruik in de toepassingsgebieden te versterken. Omdat er voor de RS-beeldverwerking nog weinig commerciële software beschikbaar was, werd hiervoor veel eigen software ontwikkeld.

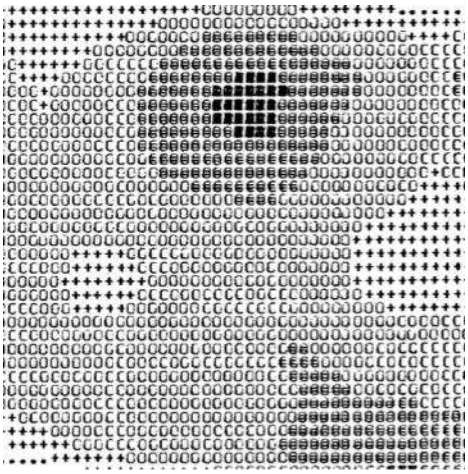


Fig. 7: Een vroege afdruk van een satellietbeeld met een matrix printer.

De ontwikkeling van algoritmes voor de verwerking van de digitale beelden leidde tot een steeds beter inzicht in de wiskundige en natuurkundige grondslag voor de beeldanalyse. Er waren toen nog geen kleurenschermen en kleurenprinters zoals nu standaard is. De resultaten werden via wat trucjes als grijswaarden weergegeven met matrixprinters (*Fig.7*). Kleurengrafische schermen zouden pas in de eerste helft van de jaren '80 op de markt komen.

De beeldverwerking richtte zich in eerste instantie vooral op de analyse van spectrale informatie voor het herkennen en onderscheiden van soorten bodembedekking en landgebruik. Dat betrof dus vooral informatie over de bedekking van het aardoppervlak. Maar daarnaast kwamen er ook al snel toepassingen voor het opsporen van delfstoffen, en voor het inschatten van de beschikbaarheid van water, de opbrengsten van oogsten, en de mate van lucht-, bodem- en waterverontreiniging. De mogelijkheden bleken legio. En al spoedig volgden technieken voor het vinden van geometrische patronen in de beelden, zoals lijnpatronen, toppen en dalen, hellingen, en beeldsegmenten.

Waar ik door mijn opleiding getraind was om naar beelden, vooral luchtfoto's, te kijken vanuit het perspectief van de landmeetkundige puntsbepaling, leerde ik hier om op een heel andere wijze naar beelden te kijken. Ik leerde zien hoe rijk die beelden ware aan thematische inhoud, die via analyse van de spectrale informatie gevonden kon worden. Daarnaast konden er veelal interessante geometrische terreinkarakteristieken gevonden worden, die de thematische informatie-extractie ondersteunden. Dit was een veel rijkere informatie-inhoud dan we als geodeten hadden leren zien. Er ging een wereld voor mij open.

Het ARTISS-project

Op basis van de eerste ervaringen met Landsatbeelden werd al snel duidelijk dat in de doellanden van het ITC, maar ook in Europa, het gebruik ervan ernstige beperkingen kende. De Landsatserie was in eerste instantie ontwikkeld om de landbouwproductie te monitoren in zowel Noord-Amerika als in de voormalige Sovjet-Unie. In beide gevallen werd de landbouw vooral bedreven op grote percelen. De belangrijkste beperkingen bij de toepassing van Landsatbeelden waren gelegen in het feit dat boven veel landen gedurende een groot deel van de tijd een tamelijk dicht wolkendek hing. Aangezien de satellietsensoren alleen recht onder zich konden opnemen, viel er bij wolkenbedekking niets van het aardoppervlak waar te nemen. Daarnaast was de grondresolutie van de beelden (70x56m^2)

te grof voor landgebruiksvormen als bewoning en landbouw op kleine percelen. Daarom ontstond het idee om een concept te ontwikkelen dat aan deze bezwaren tegemoet zou kunnen komen. De Nederlandse regering zou worden gevraagd om daartoe het initiatief voor de realisatie op zich te nemen, vooral in het kader van ontwikkelingssamenwerking (Disco, 2010).

Dit initiatief leidde tot het ARTISS-project (Agricultural Real Time Image Satellite System), onder leiding van Sikke Hempenius. Naast Nanno Mulder vroeg Hempenius nog een paar mensen om mee te denken. Daardoor raakte ik er ook bij betrokken. Het basisidee was om een satellietsensor te ontwikkelen met een spectrale resolutie die vergelijkbaar moest zijn met die van Landsat, maar met een grondresolutie van ca $10x10m^2$*, plus de mogelijkheid om de sensor te richten op gebieden die men speciaal wilde monitoren; maar ook om de openingen in een eventueel wolkendek te kunnen opsporen. Door de richtbaarheid van de sensor konden bepaalde gebieden vanuit verschillende satellietbanen worden opgenomen, zodat men niet langer alleen afhankelijk was van de frequentie waarmee de satelliet op een bepaalde locatie overkomt. Bovendien zouden de opgenomen gegevens via lokale ontvangststations direct aan de gebruiker doorgegeven moeten worden, zodat een centrale distributieorganisatie niet nodig zou zijn. Met een dergelijke aanpak zouden ontwikkelingslanden baas kunnen worden over eigen beelden.*

Een rapport met onze bevindingen werd in 1975 aangeboden aan de Minister van Onderwijs en Wetenschappen, waarna een ministeriële commissie advies uitbracht. Uiteindelijk kwam het niet tot realisatie. De in het rapport gepresenteerde ideeën bleken echter wel goed, want de later in 1986 gelanceerde eerste Franse Spot-satelliet bevatte een aantal items die ook in dat rapport stonden. Voor mij was het project een zeer goede gelegenheid om inzicht te krijgen in de ontwerp-specificaties voor RS-satellieten.

Tot nu toe had ik tijdens mijn opleiding in Delft, en in de jaren dat ik in de afdeling Fotogrammetrie op het ITC werkte, de computer vooral leren zien als een rekenapparaat. Die berekeningen maakten het mogelijk om bijvoorbeeld de ideeën van de Delftse School in de praktijk toe te passen; en ook om steeds grotere fotogrammetrische blokken door te rekenen. Eind jaren '70 en begin jaren '80 zetten de ontwikkelingen van de moderne informatie- en communicatietechnologie (ICT) definitief door. De invloed van die ontwikkelingen zou veel breder en dieper zijn dan de toenmalige ervaring op het gebied van de rekentechniek deed vermoeden; maar de voortekenen waren duidelijk zichtbaar. Digitale beelden kwamen voor het eerst beschikbaar, eerst uit de ruimte en later ook als vervanger van de analoge film in de fotogrammetrie (*Fig. 8*).

Dat gaf nieuwe impulsen. De interpretatie van luchtfoto's was altijd mensenwerk geweest. Nu werd de computer ingezet bij het (automatisch) herkennen van terreinkenmerken. Die eerste technieken waren toen nog niet gelijk praktisch bruikbaar en betrouwbaar, maar ze waren al wel veelbelovend. En met de introductie van de interactieve beeldverwerking via kleurengrafische schermen won de interpretatie van digitale beelden snel aan kracht. Daarmee werd toen duidelijk dat de tijd van analoge luchtopnames en visuele interpretatie van opnames uit de ruimte snel voorbij zou zijn. Voor de thematische interpretatie van RS-beelden was dit eigenlijk van het begin af aan al duidelijk. En voor de fotogrammetrie, waar de nadruk in eerste instantie vooral op de geometrische verwerking van beelden lag, zou dit niet veel later ook het

geval zijn; maar de fotogrammetrische digitale beeldverwerking, gericht op thematische informatie, zou nog wat langer op zich laten wachten.

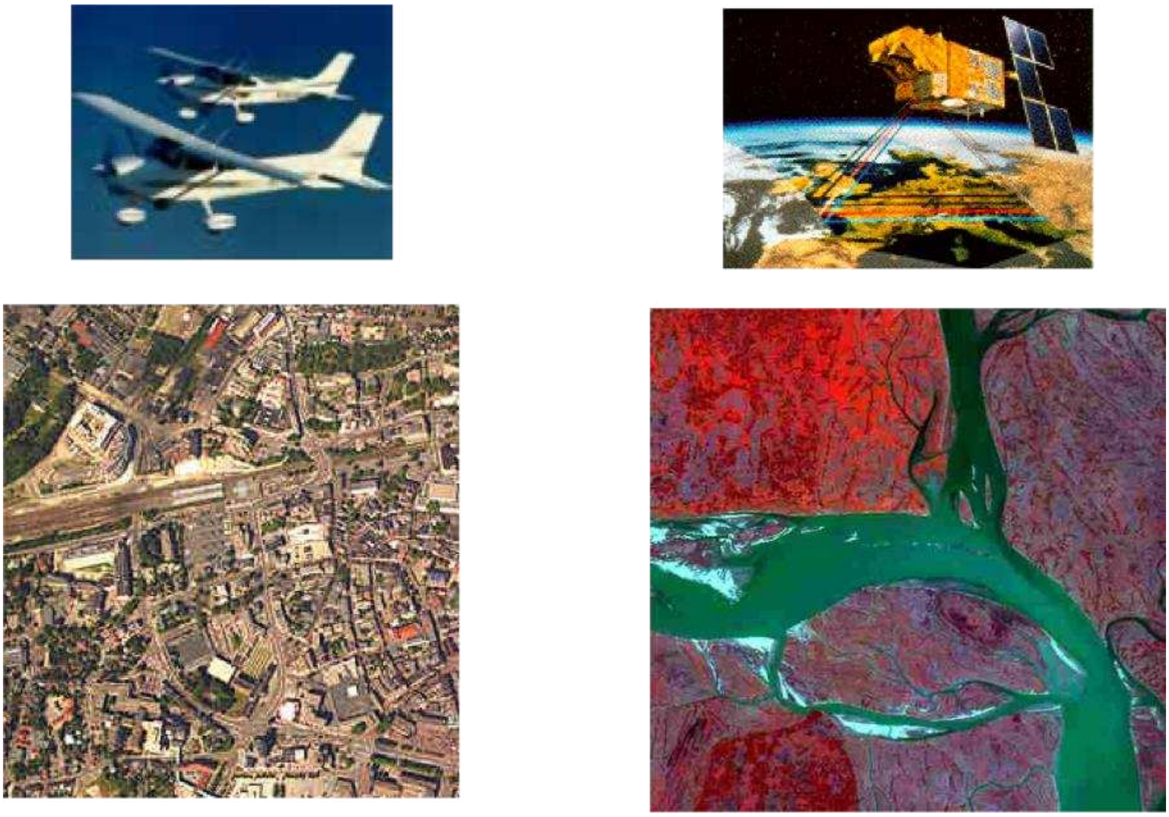


Fig. 8: luchtfoto en een beeld van de Spot-satelliet

6.3 Opkomst van geografische informatiesystemen (GIS)

De oorsprong van vectorbestanden

Tijdens mijn studie in Delft was de aandacht van het onderwijs in de landmeetkunde en de fotogrammetrie vooral gericht op het vastleggen van topografische objecten en kadastrale percelen. Daarbij lag de nadruk op het vastleggen van de geometrische karakteristieken van deze objecten in de vorm van punten en lijnen. In die tijd werden ook de eerste proeven genomen met de digitale registratie van terreingegevens met tachymeters; en dit registratieproces werd al snel geautomatiseerd. Vervolgens kwamen toen binnen een aantal jaren operationele systemen op de markt, die een digitale gegevensstroom leverden. In de fotogrammetrie vond eind jaren ’70 en begin jaren ’80 een vergelijkbare ontwikkeling plaats. In lijn hiermee werd het handmatig tekenen van kaarten vervangen door het geautomatiseerd plotten van kaarten op elektronische tekentafels. Als tussenstap tussen het meetproces en het tekenproces werden de digitale gegevens eerst nog bewerkt en gecorrigeerd.

Voor dit verwerkingsproces werd gebruik gemaakt van de eerste beschikbare CAD/CAM systemen zoals de M&S Workstations, de voorloper van het latere Intergraph. Met deze systemen werden ook gegevens bewerkt die verkregen werden uit het digitaliseren van reeds bestaande kaarten. Hiermee kwam de productie, bewerking en het gebruik van ruimtelijke gegevens in een overgangsfase van het oude analoge tijdperk naar het nieuwe digitale tijdperk. Deze overgangsfase zou enkele decennia duren (Bogaerts, 2017) (Anneveld en Molenaar, 2022). In het vroegere analoge tijdperk was het vanzelfsprekend dat zowel bij het inmeten van

terreinkenmerken als bij de cartografische weergave daarvan, de geometrie in termen van punten, lijnen en vlakken werd uitgedrukt. Een vlak werd daarbij beschreven door de begrenzing ervan, dus met een gesloten kring van lijnstukken, waarbij deze lijnstukken dan weer werden beschreven door hun begin- en eindpunten en eventuele karakteristieke knikpunten.

Bijgevolg bestond de essentie van deze geometrische weergave uit aangemeten punten plus een registratie van welke punten door lijnstukken verbonden waren. Bij de puntmetingen – instrumenteel in het veld en fotogrammetrisch op beelden – maar ook bij het digitaliseren van kaarten, lag dus de nadruk op het vastleggen van deze lijnstructuur. Een belangrijk aspect van de verwerking van deze gegevens was het aaneenschakelen van de gemeten punten en lijnstukken tot een samenhangende geometrische structuur van het hele opgenomen gebied. Daarbij dwong de digitale verwerking van de gegevens tot nadenken over de topologische structuur van deze geometrisch weergaven. Bij de gegevensbestanden met losse lijnelementen kwam toen de uitdrukking “spaghetti-structuur” in zwang; en bij bestanden met gesloten veelhoeken werd dat een “polygoon-structuur”. En wanneer bovendien de volledige topologie van een bestand werd vastgelegd, heette dat een “topologische structuur”. Voor al deze bestandsstructuren kwam op een gegeven moment de samenvattende term “vector-bestanden” in gebruik.

Rasterbestanden

Doordat de geodetische opleiding in mijn tijd nog helemaal was gericht op het traditionele kaartparadigma, was het voor degenen die toen die opleiding reeds gevolgd hadden nog vanzelfsprekend om bij terreinweergaves te denken in termen van de bovengenoemde punt- en lijnstructuren. Door de kennismaking met de digitale beeldverwerking werd echter al snel duidelijk dat de rasterstructuur ook een zeer geschikte vorm was voor de weergave van ruimtelijke fenomenen. In de analoge tijd werden kaarten vooral visueel gelezen, en soms werden ze grafisch op elkaar gepast om verschillende ruimtelijke thema’s te combineren. Omdat de rasterstructuur zeer geschikt was voor digitale bewerking en analyse, bleek dit met de opkomst van de computertechnologie een groot voordeel te zijn bij het karteren van ruimtelijke fenomenen. Daarom nam deze benadering in veel karteerdisciplines snel in gebruik toe; en al spoedig kwam er voor dit doel commerciële software op de markt.

Ik was getraind in de werkwijze van landmeters en fotogrammeters, waarbij de aandacht vooral gericht was op het vastleggen van de geometrie van terreinsituaties voor de productie van grootschalige topografische en kadastrale kaarten. Maar op het ITC maakte ik kennis met disciplines die vooral gericht waren op ruimtelijke analyse en planning. Bij deze disciplines lag de nadruk echter niet op geometrische nauwkeurigheid, maar veeleer op het benadrukken van een ruimtelijke samenhang binnen karteerthema’s en tussen verschillende van dergelijke thema’s. Veelal probeerde men de processen te begrijpen waarmee een gekarteerde situatie was ontstaan; en vaak wilde men vanuit die gekarteerde situatie voorspellen langs welke ruimtelijke processen een toekomstige situatie zich uit de huidige zou kunnen ontwikkelen. In de rasterstructuur konden bestanden met verschillende thema’s relatief eenvoudig gecombineerd worden in de vorm van digitale overlays. Bovendien bood die overlay-structuur goede mogelijkheden voor de ontwikkeling van software voor ruimtelijke analyses. Bij de vectorstructuur bleek het combineren van verschillende gekarteerde thema’s een stuk lastiger te zijn.

Op ITC verkenden verschillende afdelingen de mogelijkheid van deze raster-benadering. In de groep die zich bezighield met Urban Planning werd software ontwikkeld onder naam "Use Map". En bij de hydrologen ontwikkelde men software die later onder de naam "ILWIS" werd verkocht, of aan instellingen waar het ITC mee samenwerkte in gebruik werd gegeven.

In de digitale analyse van RS-beelden lag de nadruk in eerste instantie op de spectrale gegevens per pixel. Door middel van methoden voor beeldclassificatie werden pixels toegekend aan, bij voorbeeld, een bodembedekkingssoort, waarbij tegelijkertijd ook per pixel een onzekerheidsmaat voor deze classificatie werd toegekend. Landmeters en fotogrammeters waren daarentegen gewend om alleen de geometrische kwaliteit van de aangemeten terreinpunten en objecten te beschrijven. Bij de beeldclassificatie was het nu echter ook mogelijk om thematische onzekerheden weer te geven; en de raster structuur bleek hiertoe bij uitstek geschikt te zijn. Bovendien ging het hierbij niet langer alleen om terreinobjecten, want men kon nu ook andere typen ruimtelijke fenomenen representeren, zoals de variatie en spreiding van vegetatietypen, landgebruikstypen of het gehalte aan bodemvocht. Bovendien hoefde men zich bij de beschrijving van dergelijke ruimtelijke fenomenen niet langer te beperken tot geometrisch scherp gedefinieerde objecten, zoals landmeters en fotogrammeters gewend waren. Ook objecten met een minder scherp bepaalde geometrie konden nu worden weergegeven.

Het was niet zo dat ik me dit alles toen al direct realiseerde, maar ik zag hoe collega's met waarnemingen en ruimtelijke representaties omgingen; en ook waar ze naar zochten en welke onzekerheden ze daarbij moesten hanteren. Die ervaring zou me in mijn latere Wageningse periode helpen bij het ontwikkelen van onderzoeksthema's op het gebied van ruimtelijke representaties.

7. De contouren van een nieuw probleemveld worden zichtbaar

7.1 Benoeming tot hoogleraar "Landmeetkunde en Teledetectie"

In 1983 werd ik Wageningen benoemd tot hoogleraar "Landmeetkunde en Teledetectie". Teledetectie was toen Wagenings voor Remote Sensing. Voor die tijd ging ik om me te oriënteren voor een kennismakingsbezoek naar de vakgroep. Ik had op dat moment nog niet definitief besloten te solliciteren, maar ik viel gelijk voor de charme en het prachtige uitzicht van het gebouw waar de groep gehuisvest was, *Fig. 9*. In ieder geval besloot ik na dat bezoek om de gok te wagen; en met succes. Bij mijn aanstelling wist ik nog niet veel van Wageningen, maar het bleek uiteindelijk een goede stap te zijn (Molenaar en Loedeman, 2022). Ik kwam in Wageningen aan als geodeet, of als landmeter en zou dertien jaar later teruggaan naar het ITC met als expertiseveld de aardobservatie en geo-informatie.

> ***Terzijde***
> *Ik werd toen nog aangesteld bij de Landbouwhogeschool, de LH. Die werd later omgedoopt tot Landbouwuniversiteit Wageningen, de LUW. Op een gegeven moment wilde men daar van de beperkende aanduiding "landbouw" en werd het Wageningen University, de WU. Dat was gelijk een stap in de verengelsing van het hoger onderwijs. Vlak na mijn vertrek werd de universiteit met de andere onderzoeksinstellingen onder het Ministerie van Landbouw ondergebracht in één organisatie, Wageningen University and Research, de WUR. In de verdere tekst zullen de afkortingen door elkaar gebruikt worden.*

Tijdens die Wageningse jaren vond mijn omvorming plaats, want binnen de Wageningse context was die niet alleen volkomen vanzelfsprekend maar ook nodig. Ik introduceerde me er met een inaugurele rede getiteld: "Je moet wel je plaats weten" (Molenaar, 1985). In die rede gaf ik allereerst een overzicht van de recente ontwikkelingen in de landmeetkunde en de fotogrammetrie, voor zover die naar mijn mening relevant leken voor Wageningen. Daarna volgde als derde thema een schets van zowel de toenmalige ontwikkelingen in de remote sensing (RS) als de opkomst van de geo-informatiekunde. Deze schets presenteerde ik vanuit het perspectief van de mogelijkheden die deze ontwikkelingen leken te bieden voor toepassingen in de, vooral ruimtelijk georiënteerde, Wageningse disciplines. In die schets werd ook aangegeven waar potentiële onderzoeksthema's lagen. Bij de inzet van RS-technieken voor ruimtelijke probleemstellingen leek met name de interactie tussen RS-beelden en geo-informatie tot interessante onderzoeksvragen te kunnen leiden.

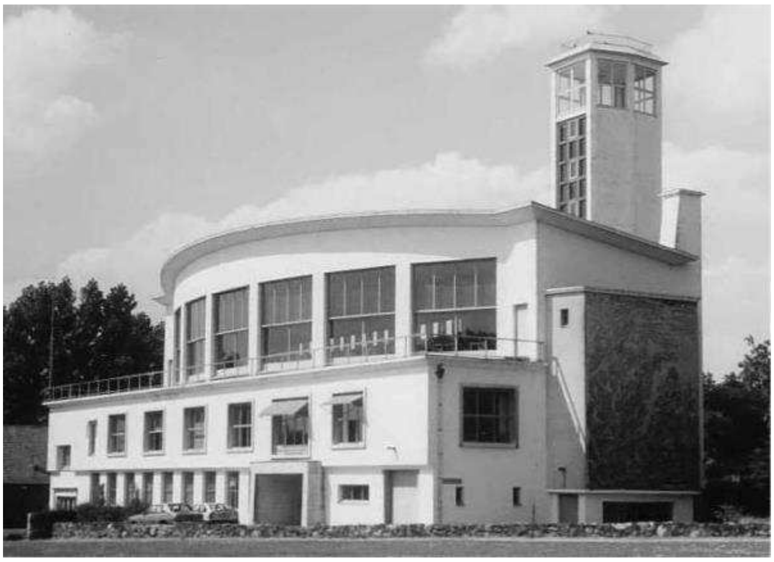


Fig. 9: "Landmeetkunde" - Het gebouw op de berg

"Landmeetkunde" stond in de formulering van de leeropdracht als eerste onderwerp genoemd. Dit sloot aan bij de traditie van de leerstoel en de vakgroep. Maar het was toen al duidelijk dat de belangstelling voor dit onderwerp bij de verschillende studierichtingen snel afnam. De remote sensing was daarentegen al enkele jaren in opkomst in Wageningen, en daardoor was er ook een snelgroeiende interesse in de toepassingsmogelijkheden van de geo-informatiekunde. Net zoals ik al bij het ITC had opgemerkt, waren de meeste disciplines niet zo zeer geïnteresseerd in de precieze geometrie van ruimtelijke terreinkenmerken, als wel in de aard van ruimtelijke fenomenen met hun ruimtelijke verdeling en patronen. Dat sloot inderdaad aan bij het derde thema van mijn inaugurale rede.

Dat betekende dat voor dit derde thema nieuw onderwijs ontwikkeld moest worden, en dat het onderzoek zich daarop zou gaan richten (Molenaar en Loedeman, 2022). Het betekende ook dat de vakgroep dit onderwijs, en zeker ook het bijbehorend onderzoek, in nauwe samenwerking met andere groepen moest gaan inrichten, zowel binnen als buiten Wageningen. Die andere groepen moesten ervoor zorgen dat dat onderzoek goed zou aansluiten bij hun disciplinaire thematiek, dus dat het relevant was voor de vraagstellingen waar zij mee bezig waren.

In die tijd begon zich snel een internationale onderzoeksgemeenschap te ontwikkelen op het gebied van geo-informatie. In de Nederlandse academische omgeving werd daarbij het voortouw genomen via de oprichting van NexpRI[15], een samenwerkingsverband tussen TUDelft, Universiteit Utrecht, Wageningen Universiteit, Universiteit van Amsterdam en het ITC. Internationaal kreeg dit veld een enorme impuls door de oprichting in 1989 van het NCGIA[16] in de VS, een centrum waarin de Universiteiten van Santa Barbara, Maine en Buffalo samenwerkten. Ook in andere landen ontwikkelde zich snel initiatieven voor onderzoek gericht op geo-informatie. Door deze variëteit aan groepen werd de geo-informatie uit heel diverse richtingen opgepakt als onderzoeksveld.

In dit brede veld kozen we voor de vakgroep Landmeetkunde een eigen oriëntatie, waarbij we ons richtten op methodische aspecten van de gegevensverwerking. Die aspecten betroffen de inwinning en verwerking van ruimtelijke gegevens met RS en GI, waarbij vooral aandacht werd besteed aan de samenhang tussen die twee takken van de ruimtelijke gegevensverwerking. Het zoeken naar de gemeenschappelijke kenmerken van de verwerking van die informatie in de verschillende gebruiksdisciplines stond daarbij voorop. Deze kenmerken betroffen de gebruikte gegevensmodellen èn de daarop gebaseerde verwerkingsprocessen voor de gegevens. Uiteraard was dit inzicht niet al gelijk vanaf het begin helder, maar gaandeweg zou het beslist duidelijk worden.

7.2 Het belang van de integratie van RS en GI

Er kwamen al snel meer RS-beelden met steeds hogere herhaalfrequenties beschikbaar, met bovendien een steeds groter spectraal bereik en steeds hogere ruimtelijke en spectrale resoluties. De verwerking van deze beelden was vooral gericht op thematische inhoud en niet zozeer op geometrie en locatie. En deze verschuiving van de nadruk sloot goed aan bij de Wageningse behoefte aan vooral thematische ruimtelijke informatie. Al snel leidde dit tot vragen die een heel andere benadering eisten dan het werk dat ik voorheen had gedaan. Die vragen vereisten ook een andere mentale instelling dan nodig was voor mijn werk in het kader van de Delftse school. Dat werk was sterk ingekaderd door gevestigde mathematische methodes en modellen. Uit de thema's waarin ik me nu op ging richten vormde zich geleidelijk een veld van onderzoek, waarvoor een nieuw methodisch kader gevormd moest worden: dit was pionierswerk. Met collega's in Wageningen en daarbuiten moesten we gezamenlijk onze nieuwe weg zien te vinden.

De toen gangbare technieken voor beeldanalyse bleken niet krachtig genoeg te zijn om tot goede resultaten te kunnen komen; ook de geografische context moest meegenomen worden (*Fig. 10*). Ons zoeken richtte zich daarom op technieken voor "knowledge-based image analysis", met de vraag hoe beschikbare kennis over het aardoppervlak hierbij gebruikt kon worden.

Gaandeweg werd het steeds duidelijker dat RS en GI elkaar konden ondersteunen en versterken, met RS als gegevensbron voor GI, en met GI als ondersteuning van de beeldanalyse. De beschikbare geometrische gegevens hielpen daarbij om data uit verschillende bronnen op elkaar te passen. Die interactie was toen nog zeker niet voor iedereen

[15] Nederlands Expertisecentrum voor Ruimtelijke Informatieverwerking

[16] The National Centre for Geographic Information and Analysis

vanzelfsprekend of zelfs maar zichtbaar. Er was nog nauwelijks overlap of interactie tussen enerzijds disciplines die zich richtten op het gebruik van RS-data en anderzijds degenen die gericht waren op het gebruik van GI. Dat gold voor zowel het onderzoek als het onderwijs.

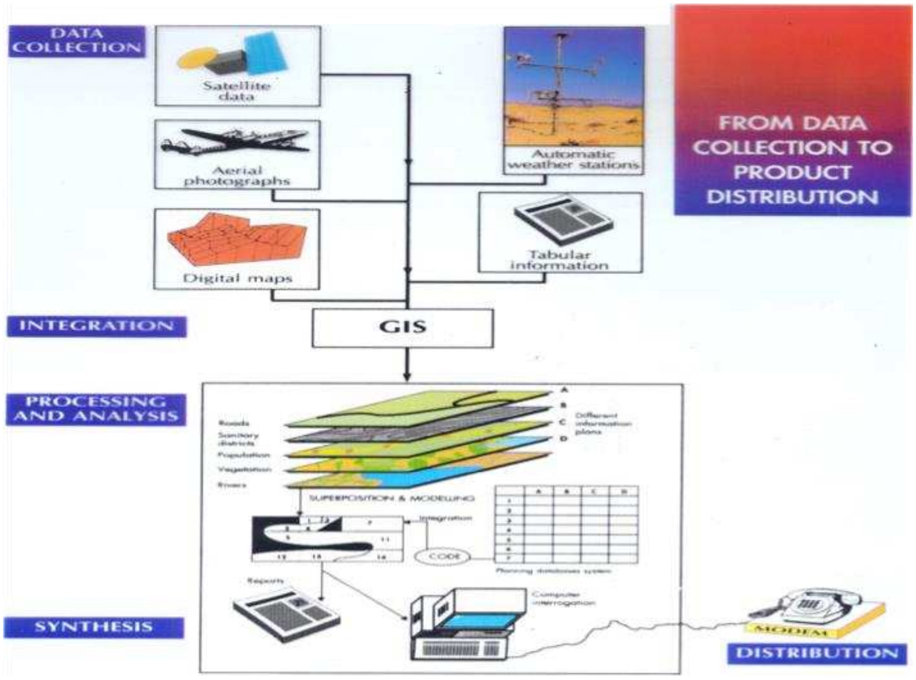


Fig. 10: de combinatie van GIS en Remote Sensing beelden.

De RS had zich al sinds eind jaren ’60 en begin jaren ’70 ontwikkeld tot een technologie met groeiende toepassingsmogelijkheden. De geo-informatie kreeg pas begin jaren ’80 echte aandacht door de bredere ontwikkeling van Geografische Informatie-Systemen (GIS). In eerste instantie was de daarvoor beschikbare software nog vooral gericht op het verwerken van digitale kaartgegevens. Daardoor lag de nadruk aanvankelijk nog in lijn met het toen gangbare kaartparadigma, dus op het vastleggen van de toestand van fenomenen op het aardoppervlak. Eerdergenoemde systemen als M&S en Intergraph waren met name gericht op het vastleggen van grootschalige topografische elementen, bijvoorbeeld harde topografie, leidingen en kadastrale gegevens. Daarnaast kwam er nu steeds meer software op de markt, zoals de eerste versies van Arc-Info, die meer gericht was op de behoefte van andere karteerdisciplines dan de geodesie. Die andere disciplines waren veel meer gericht op het analyseren van ruimtelijke processen en het bijsturen daarvan, alsmede op ruimtelijke planning voor stedelijke ontwikkeling en andere vormen van landgebruik. Daartoe behandelde men vaak thematische gegevens die in het veld in geometrische zin minder scherp waren gedefinieerd dan geodeten gewend waren.

Nu RS-opnamen met een steeds hogere tijdsfrequentie beschikbaar kwamen, verschoof de aandacht echter steeds meer naar het volgen, het voorspellen en het bijsturen van geografische processen. Dit vereiste de ontwikkeling van technieken voor het monitoren van deze processen op basis van een semi-permanentie stroom van satellietbeelden. Door de verschillende ruimtelijke resoluties van deze beelden te combineren, kond ook op meerdere schaalniveaus worden gewerkt (*Fig.11*). Daarbij rees de vraag hoe die verschillende schaalniveaus gekoppeld

moesten worden; en dit niet alleen geometrisch, maar vooral ook inhoudelijk en dus thematisch.

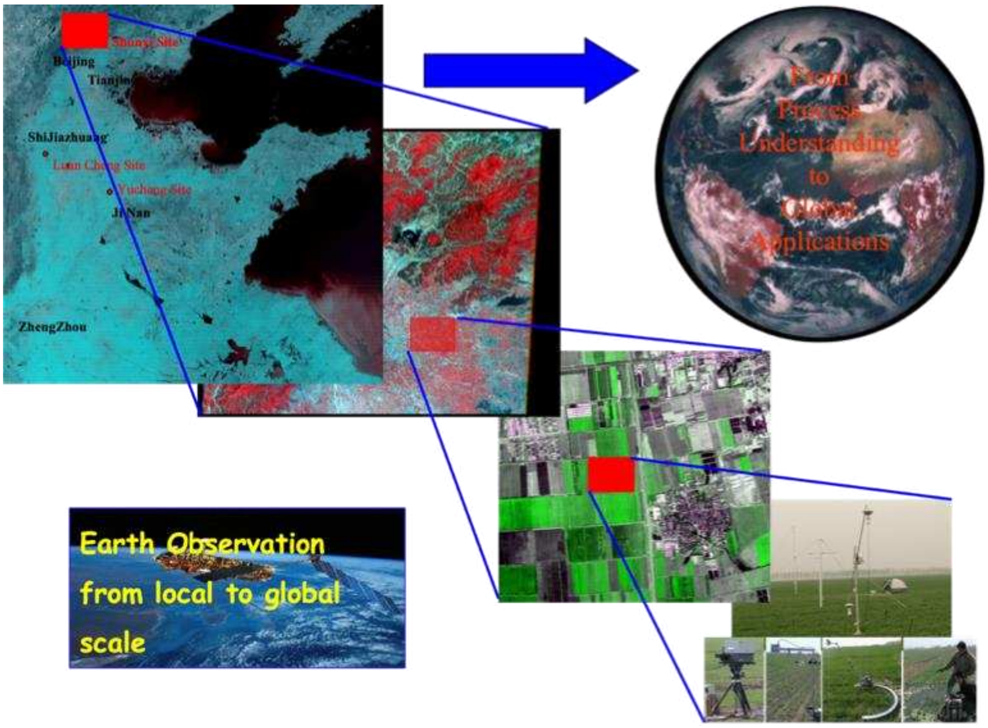


Fig. 11: Meerschalige monitoring van processen.

Hierdoor ontstond, als gezegd, een veld van onderzoek dat nog zo goed als maagdelijk was. Daarmee opende zich een nieuw domein voor wetenschappelijke exploratie. Uiteraard was er al heel wat werk gedaan; en met name de geometrische-topologische modellen waren in essentie al geformuleerd voor ruimtelijke beschrijvingen. Maar de modellering van de bredere semantische aspecten van ruimtelijke beschrijvingen moesten nog vorm krijgen. En dat gold ook voor een alomvattende theorie voor de koppeling van thematische en geometrische gegevens. Hier werd steun gezocht bij de informatica en vooral bij de reeds bestaande database modellen. Daarbij bood de toen opkomende theorie voor object-georiënteerd modelleren veel inspiratie. Daarnaast moesten die ruimtelijke gegevensmodellen ook gekoppeld worden aan de beeldanalyse. Derhalve werd gezocht naar procesmodellen voor de beschrijving van ruimtelijke dynamiek.

Kortom: voor de betrokken onderzoekers was het waarlijk “une mer à boire”.

8 Het traditionele kaartparadigma wordt verlaten

8.1 Het kaartparadigma

Tot de opkomst van de geografische informatiesystemen, begin jaren ’80, waren we gewend aan geografische overzichten in de vorm van kaarten. Dit gebeurde in de vorm van atlassen en van losse kaartbladen, zoals: topografische en kadastrale kaarten, bodem- en vegetatiekaarten, kaarten voor navigatie op zee, etc. Ruimtelijke entiteiten en terreinkenmerken werden daarbij weergegeven in de vorm van al dan niet gekleurde punt-, lijn- en vlaksymbolen waarbij de relatieve posities van die symbolen op de kaart ongeveer overeenkwamen met die in het terrein. In de legenda van de kaart werd de betekenis van de gebruikte symbolen verklaard. De kaart

diende dus als visualisatie van het terrein, maar was voor veel toepassingen tevens een opslagmedium van ruimtelijke gegevens. Deze tweeledige werkwijze vormde de kern van het kaartparadigma[17].

Het vervaardigen van dergelijke kaarten was meestal een langdurig ambachtelijk proces dat voor een belangrijk deel analoog en manueel werd uitgevoerd. Zowel de terreinopname door de verschillende disciplines als de productie van kaarten uit de ingewonnen gegevens waren tijdrovende processen. Daarom gebeurde het actualiseren van kaarten, in verband met veranderingen van terreinkenmerken, slechts met grote tussenposen. Hierdoor gaven kaarten een statisch beeld van de afgebeelde geografie. Vanaf de jaren '60 verliep het laatste deel van het proces steeds meer in digitale vorm, waarbij de gegevens waaruit de kaarten getekend werden als digitale files werden ingevoerd in computers die elektronische tekentafels aanstuurden. Daarbij werden die invoergegevens echter alleen gezien als "tekenfiles" voor het vervaardigen van kaarten, maar nog gebruikt voor niet voor andere vormen van gegevensverwerking. Voor de representatie van terreinsituaties bleef men nog langere tijd denken in termen van kaarten.

Met de opkomst van de geo-informatica konden deze twee functies – visuele representatie en gegevensopslag – gescheiden worden; een ontwikkeling die leidde tot paradigmatische verschuiving in de zin van (Kuhn, 1979). De karteerdisciplines verlieten stapsgewijs het kaartparadigma en gingen over naar een nieuwe benadering, die was geconcentreerd rond de inzet van de zich snel ontwikkelende geo-informatietechnologie.

In GI-systemen worden geometrische en thematische gegevens opgeslagen in databases, maar wel zodanig dat er tussen die twee typen gegevens relaties gelegd kunnen worden. Een grafische weergave kan dan uit beide gegevens worden afgeleid. De visualisatie van terreinkenmerken wordt daarmee een vorm van bewerking van de in een database opgeslagen gegevens, zie *Fig. 22*.

> ***Terzijde:***
> *De cartografische oorsprong van GI-systemen was nog duidelijk te herkennen aan het begrip "map overlay". Dat begrip verwees nog naar de oude praktijk waarin de informatie van twee kaarten gecombineerd werd door ze op een lichttafel over elkaar te leggen. Met kaarten, die nog op papier waren gedrukt, kon dat mits het licht sterk genoeg was om door de kaarten heen te schijnen. En als dat niet ging, dan werden de kaarten eerst overgebracht op transparant materiaal.*

In geografische informatiesystemen hangt de keuze van de geometrische beschrijving van terreinkenmerken niet meer alleen af van de fysieke vorm of grootte daarvan, maar veeleer ook van de topologische rol die de objecten in ruimtelijke beschrijvingen en analyses spelen. Door de opkomst van de digitale beeldvormende RS-systemen ontstond nu ook een breed scala aan andere visualisaties van het terrein, hetgeen een enorme uitbreiding inhield van de relatief beperkte mogelijkheden van de traditionele analoge luchtfoto's en fotokaarten.

---

[17] De werkwijze van het kadaster was van oudsher echter anders. Daar werden gegevens over registergoederen aangetekend in de openbare registers en de geometrische gegevens stonden op de veldwerkschetsen van de landmeter genoteerd. De kadastrale kaart werd uit deze gegevens afgeleid en gaf alleen een overzicht van de ligging van percelen en opstallen, maar werd niet gebruikt als gegevensbron. Daarmee liep het Kadaster in zekere zin vooruit op de hieronder volgende werkwijze.

8.2 De behoefte aan grondslagen voor ruimtelijke gegevensmodellering

Bij de opkomst van de GI-technologie in de jaren ’80 en ‘90 ontwikkelden zich dus nieuwe technische mogelijkheden voor de representatie van ruimtelijke gegevens. Eind jaren ’70 en begin jaren ’80 kwamen er publicaties over een nieuwe ordening van ruimtelijke gegevens, zoals in de Tiger Files van het US Census Bureau. Niet lang daarna, in het begin van de jaren ’80, kwam de eerste versie van ArcInfo op de markt, gebaseerd op het concept van de Tiger Files en geschikt voor kleine computers. Daarmee werd de topologische structurering van geometrische gegevens een onderwerp dat de aandacht trok. De eerste aanzet voor onderzoek van deze nieuwe software die toen op de markt kwam, was uiteraard gericht op de verkenning van de toepassingsmogelijkheden voor zowel GIS als RS-beeldverwerking.

Het was duidelijk dat zich hier een nieuw veld voor onderzoek ontwikkelde, zoals ik vaststelde in mijn inaugurale rede bij de formele aanvaarding van mijn leeropdracht in Wageningen, (Molenaar, 1985). Doordat gegevens nu in digitale vorm beschikbaar waren, werd het mogelijk om deze in digitale verwerkingsprocessen in te voeren. Dit creëerde niet alleen nieuwe mogelijkheden voor het gebruik van geo-informatie als ondersteuning van de RS-beeldanalyse, maar ook om resultaten van deze beeldverwerking in te voeren in GIS. Hiermee opende zich een nieuw te ontwikkelen aandachtsveld voor mijn vakgroep. Maar minstens zo belangrijk was de nu ontstane mogelijkheid om deze gegevens in te voeren in algoritmes voor ruimtelijke analyses en ruimtelijke procesmodellen.

Hierbij ontstond de behoefte aan een dieper theoretisch kader in de vorm van een geo-informatietheorie; deze moest de hele geo-informatiestroom omvatten. Dit betrof behalve de inwinning van gegevens ook opslag en integratie daarvan in de vorm van geodata, alsmede de bewerking, het gebruik en de visualisatie daarvan. De eerste schetsen van zo’n theoretisch kader zijn te vinden in (Molenaar, 1989c, d), (Molenaar, 1991).

De nadruk van het onderzoek lag in eerste instantie op de formulering van conceptuele geo-informatiemodellen. Op basis daarvan konden we vervolgens methodes ontwikkelen voor de koppeling tussen geo-informatie en RS-beeldanalyse. Daarmee konden we andere vakgroepen ondersteunen bij de inzet van geo-informatie en bij het verkennen van de gebruiksmogelijkheden van RS. Eén van de eerste toepassingen was het gebruik van informatie over de grenzen van landbouwpercelen, om zo landbouwgewassen per perceel in plaats van per pixel te kunnen identificeren, zie *Fig. 12* (Janssen, 1994) (Leeuwen, 1996). Dit gaf een aanzienlijk betere classificatienaukeurigheid.

Dit was een eerste begin, want al spoedig werden RS-beelden gebruikt voor het volgen van processen, zoals de rotatie van landbouwgewassen over meerdere jaren, of de ontwikkeling van landgebruik en natuurlijke vegetatie. Hierbij bleek dat het voor de beeldanalyse niet voldoende was om de aandacht te richten op slechts op één ruimtelijk schaalniveau of aggregatieniveau, want bij veel toepassingen bleek het zinvol om voor de informatie-extractie op een bepaald niveau ook gebruik te maken van informatie op de onder- en bovenliggende niveaus. Het loslaten van het traditionele kaartparadigma gaf daarbij ruimte aan een aanzienlijke verrijking met nieuwe concepten voor de representatie van objecten met ieder hun classificatie- en aggregatie-hiërarchieën. Het werd daardoor vooral helder welke condities gesteld moesten worden aan semantische specificaties. Deze inzichten waren van belang bij het koppelen van GIS en RS voor de inzet van ruimtelijke kennis in de beeldinterpretatie. Ruimtelijke object-hiërarchieën bleken hierin een belangrijke rol te spelen.

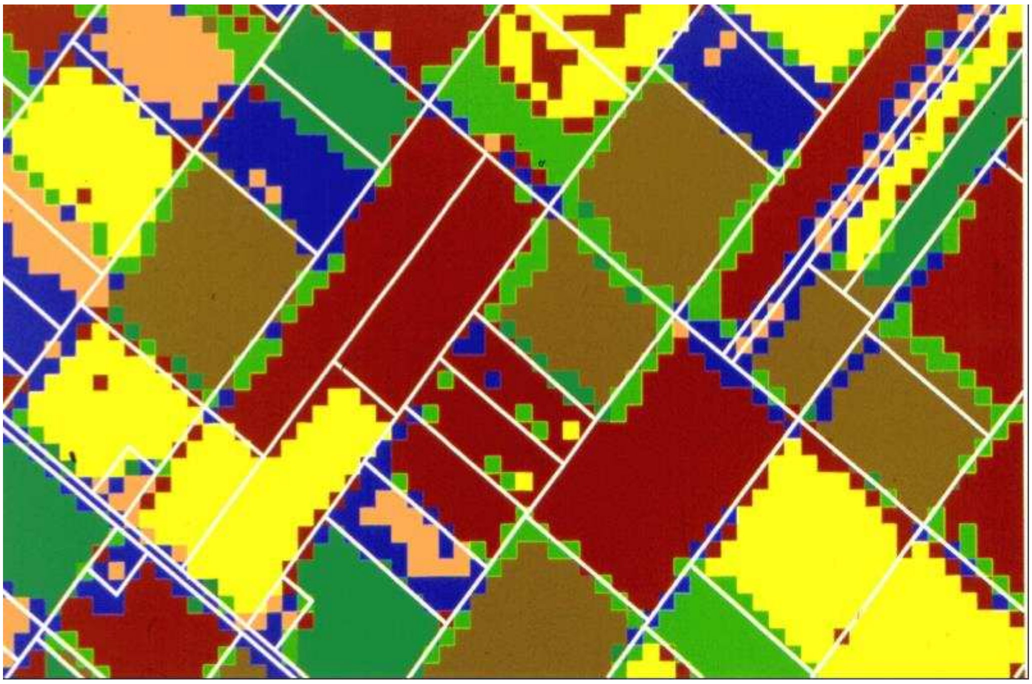


Fig. 12: De grenzen van landbouwpercelen ondersteunen de classificatie van een RS-beeld om de gewassen per perceel te identificeren (Janssen, 1994)

De onderzoekslijn die zich nu in mijn groep in Wageningen ontwikkelde, richtte zich op het formuleren van ruimtelijke gegevensmodellen in relatie tot de inwinning, de representatie, de analyse en het gebruik van ruimtelijke informatie. Essentieel was daarbij de verbinding van de geometrische en de thematische aspecten. Binnen de landmeetkunde en de fotogrammetrie werd al wel nagedacht over opslagstructuren bij gebruik van digitale gegevens; dit in verband met het aansturen van elektronische tekentafels. Maar nu moest bovendien op een ander niveau worden nagedacht over de digitale opslag met het oog op de bevraging en verwerking van ruimtelijke gegevens. Dit was in de tijd dat in de literatuur meer en meer publicaties beschikbaar kwamen over de structuur van verschillende typen databases en hun bevraging. Zo werd er steun gezocht bij de daarin gepresenteerde modellen voor het organiseren van ruimtelijke gegevens. Vooral het relationele databasemodel won snel aan belang.

Naast de organisatie van data in databases, speelde ook de onnauwkeurigheid of onscherpte van de ruimtelijke gegevens een belangrijke rol. Die onscherpte leidde doorgaans niet alleen tot onzekerheid over de correctheid van de gegevens en van de op basis daarvan gedane uitspraken, maar vervolgens ook weer van de daarop gebaseerde acties. De hele hierboven beschreven problematiek leidde tot een sterk conceptueel gericht onderzoek naar grondslagen voor de formulering van relevante informatiemodellen voor geo-informatie. Voor de formulering daarvan zouden de methodiek van relationele databases als belangrijke inspiratiebronnen fungeren, evenals de wat latere objectgerichte benaderingen binnen de ICT.

De geformuleerde ruimtelijke gegevensmodellen moesten voldoende algemeen zijn om in verschillende, liefst de meeste, ruimtelijk georiënteerde Wageningse disciplines bruikbaar te zijn. Daarom begon het onderzoek niet bij de mogelijkheden van de toen beschikbare GeoICT, maar bij de vraagstellingen die leefden bij de disciplines die geo-informatie inwonnen, analyseerden en gebruikten.

Terzijde
Hierbij speelde in mijn achterhoofd een korte notitie, één van de genummerde EWD's, van de beroemde informaticus Edsger W. Dijkstra: Informatica gaat net zomin over computers als astronomie over telescopen[18]

Hierin is een duidelijke parallel zichtbaar met de benaderingswijze die ik van Baarda had geleerd, want die verdiepte zich niet of nauwelijks in de verschillende meettechnieken die landmeters hanteerden. Zijn beschouwingen waren geënt op een geabstraheerde visie op die meetprocessen en de daaruit gedestilleerde gemeenschappelijke basisstructuur, die hij erin herkende, voor de berekening van coördinaten uit meetgrootheden als hoeken en lengteverhoudingen. Zodoende kwam hij tot een gegeneraliseerde benadering voor de berekening van coördinaten, met de vereffening en de daarbij horende kwaliteitsanalyse van geodetische metingen.

Het zoeken naar deze grondslagen leidde tot een wiskundige benadering, die als samenhangende theorie uiteindelijk werd gepubliceerd in (Molenaar, 1998b). In deze formulering werden de geometrische en thematische gegevens op een inzichtelijke wijze gecombineerd. De resulterende modellen konden worden doorvertaald naar meerdere toen gangbare en later nieuw opkomende database-modellen. Want het was uiteraard van belang dat de geformuleerde concepten konden worden gehanteerd door de toen beschikbare (geo)-informatiesystemen en beeldverwerkingssystemen.

Deze onderzoeksaanpak gaf ook beter inzicht in de aard van de semantische dichotomie (het onderscheid) tussen enerzijds objectrepresentaties zoals van huizen, wegen, akkers, bossen etc., en anderzijds veldrepresentaties met plaats-afhankelijke variabelen zoals hoogte, bodembedekking, grondwaterdiepte etc.

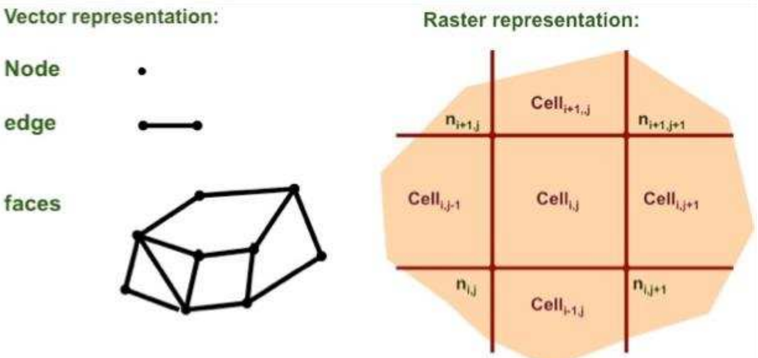


Fig. 13: vector- en rasterstructuur (Molenaar, 1998b)

8.3* Een paar opmerkingen over geometrische representatievormen

Vector- vs rasterstuctuur

De dichotomie tussen objectrepresentaties en veldrepresentaties werd vaak verward met die tussen vectorstructuren en rasterstructuren. De eerste (*Fig.13-links*) is gebaseerd op gebiedsdekkende aaneengesloten vlakelementen (faces), lijnstukken (edges of arcs) en punten (nodes of vertices). Deze elementen vormen in GI-toepassingen over het algemeen een

[18] Hier is het font van Bradley Handwriting gebruikt in plaats van het beroemde eigen handschrift van Edsger Dijkstra (1932-2002)

zogenoemde vlakke graaf; dit volgens de voorwaarden van de grafentheorie uit de wiskunde. De tweede is daarentegen gebaseerd op gebiedsdekkende aaneengesloten (vierkante) cellen, zoals in (*Fig. 13-rechts*).

Nadere beschouwing maakte duidelijk dat beide in wezen dezelfde diepere basisstructuur hebben voor representatie van ruimtelijke gegevens, zie Annex 1. De cellen van de tweede structuur zijn in wezen regelmatige rechthoekige (vierkante) vlakelementen, dus met de bijzondere eigenschap dat ze altijd omgrensd worden door vier loodrecht op elkaar staande zijdes. De tweede structuur is daarmee een special geval van de eerste. De eerste kan flexibeler worden aangepast aan de geometrie van een te representeren ruimtelijke situatie. De tweede is daarin minder flexibel, maar de regelmatige geometrische structuur maakt haar geschikt voor de uitvoering van bepaalde ruimtelijke analyses, zodat het destijds eenvoudiger was om daarvoor software te ontwikkelen. Maar in principe bieden beide structuren dezelfde mogelijkheden voor ruimtelijke representaties. Het verschil is dan vooral pragmatisch van aard.

8.4* De koppeling van geometrische en thematische gegevens

Het essentiële verschil tussen de veldstructuur en de objectstructuur is van semantische aard en dat verschil ligt in de wijze waarop thematische gegevens aan de ruimtelijke geometrie worden gekoppeld. De veldstructuur wordt gekenmerkt door de eigenschap dat de waarden van een of meerdere attributen direct gekoppeld worden aan posities in het terrein, zie *Fig. 14a*. Dit kan gaan om attributen zoals de hoogte van het terrein, bodembedekking, grondwaterdiepte, bodemsoort, etc. Vaak wordt een veldweergave in een rasterstructuur gedaan, waarbij de posities op cellen of punten betrekking kunnen hebben. Maar dat hoeft niet, een veldweergave kan ook een onregelmatige geometrische structuur hebben.

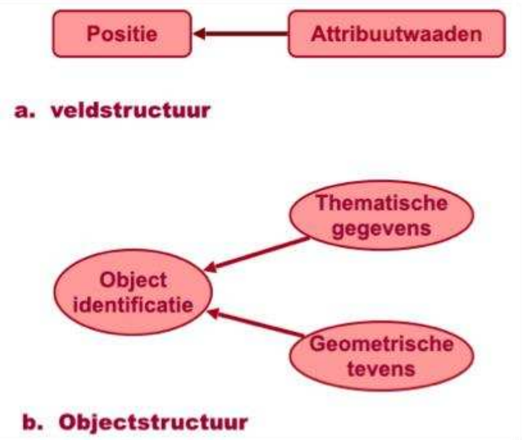


Fig. 14: Basisstructuur van veld en objectrepresentaties (Molenaar, 1998b)

De objectstructuur wordt gekenmerkt door het feit dat ieder object via een identificatie wordt gerepresenteerd *(Fig.14b)*. Voor objecten kan dan gekozen worden of ze als punt-, lijn- of vlakobjecten gerepresenteerd worden. Deze keuze zal afhangen van de rol die ieder object, of iedere klasse van objecten, in de ruimtelijke beschrijving heeft. Thematische en geometrische gegevens van een object worden aan deze identificatie gekoppeld. Dus in tegenstelling tot de veldstructuur is er hier geen directe koppeling tussen thematiek en geometrie, deze loopt hier via de objecten.

De Formele Data Structuur (Formal Data Scheme)

Op basis van wat hierboven is beschreven, heb ik voor geo-informatie een basisschema ontworpen waarin de relaties worden weergegeven tussen ruimtelijke objecten, de thematische klassen waar deze toe behoren en de elementen van hun geometrische beschrijvingen. Deze benadering was uiteraard geïnspireerd op de methodes voor data-analyse, die ik in de literatuur vond. Dit schema is in (Molenaar, 1989a, b) onder de naam "Formal Data Structure" gepubliceerd. Later in (Molenaar, 1998b) werd daarvoor de term "Formal Data Scheme" gebruikt, waarvoor nog steeds de afkorting FDS gebruikt kon worden. In (Molenaar, 1998b)

werden ook een aantal variaties op het schema gegeven[19]. De FDS is geformuleerd voor de representatie van ruimtelijke objecten, dus het gaat hier om een uitwerking van *Fig.14b*. Later zijn er aanvullende schema's toegevoegd, die vooral de structuur van de thematische beschrijving van ruimtelijke objecten weergeven, zie **9.3**.

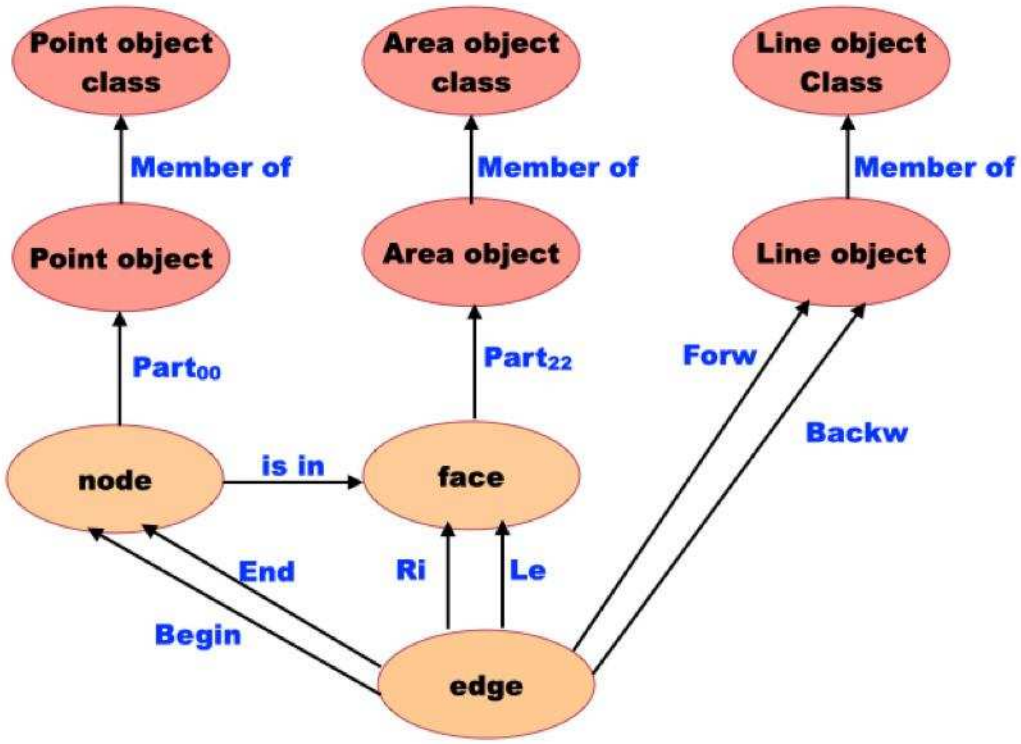


Fig. 15: De basisstructuur van de FDS (Molenaar, 1998b)

Deze schematische weergave is een abstractie van de wijze waarop ruimtelijke gegevens in GI-systemen worden gerepresenteerd. Het toont op een snelle inzichtelijke wijze welke elementaire entiteiten in de geo-informatie een rol spelen en welke basisrelaties daartussen gelden. Vanuit deze basisstructuur konden dan complexere situaties en constructies worden begrepen.

Fig. 15 geeft een vereenvoudigde versie van dit schema, maar wel zodanig dat het geschikt is om het concept hier toe te lichten. Dat schema toont drie lagen van entiteiten:

- Onderaan staan de geometrische basiselementen: punten, lijnelementen en vlakelementen (of *nodes*, *edges* en *faces*)[20].
- In de middelste laag staan de punt-, lijn- en vlakobjecten.
- In de bovenste laag staan de klassen waartoe de objecten behoren. Deze laag is hierna in **9.3** verder uitgewerkt.

[19] In de publicaties van 1989 kwamen nog geen *faces* voor, er werden directe links- en rechts-relaties gelegd tussen *edges* en vlakobjecten. De invoering van *faces* maakte het eenvoudiger om rasters en triangulaties als speciale gevallen van de algemene vectorstructuur te behandelen. Bovendien konden later in de Part-relatie tussen *faces* en vlakobjecten onzekerheidsmaten worden ingevoerd, zie **10.3**.

[20] In feite zijn dit topologische basiselementen waarmee de geometrische samenhang van een terreinsituatie beschreven wordt. Voor ligging en vorm zou aan de *edges* nog vorminformatie moeten worden meegegeven en aan de *nodes* coördinaten. Die informatie is hier achterwege gelaten.

De pijlen geven aan dat tussen de gerelateerde entiteitstypen een m:1 relatie bestaat, zoals voor het feit dat vele *faces* tot de geometrie van één specifiek vlakobject behoren. Voor de relaties in deze schema's is later een wiskundige notatie ontworpen, waarmee het mogelijk werd om de relaties door te rekenen en op een geavanceerder niveau te analyseren. Bovendien maakte die notatie het mogelijk om dergelijke relaties te specificeren en de effecten van variaties op dergelijke specificaties door te rekenen. De notatiewijze wordt in Annex 2 kort toegelicht, bovendien laten daar een paar voorbeelden zien hoe objectrelaties uit dit schema kunnen worden afgeleid.

Dit schema is ontwikkeld voor situaties waarin de geometrische elementen een partitie van een gekarteerd gebied vormen. Kort gezegd bedekken de *faces* dan het hele gebied zonder elkaar te overlappen. De *edges* hebben een richting doordat voor iedere *edge* een beginpunt en een eindpunt is gegeven. Doordat de *edges* met de lijnobjecten voorwaartse of achterwaartse verbindingen kunnen hebben, is het mogelijk om de richting van die verbindingen te bepalen. Verder heeft iedere *edge* altijd één *face* aan de linkerzijde en één aan de rechterzijde; en daarmee zijn dan ook de grenzen van de *faces* bepaald.

Van de *nodes* kan via *edges* en *faces* bepaald worden of ze al of niet op de grens van een face liggen. Nodes waarvoor dat niet geldt moeten dan binnen de grenzen van een *face* liggen. Zo kan ook vastgesteld worden of een node deel uitmaakt van de grens van een vlakobject en/of een lijnobject. Verder kan een node eventueel ook nog de ligging van een puntobject aangeven.

Als in een kartering de vlakobjecten het hele gebied afdekken, dan is iedere *face* deel van de geometrie van een vlakobject. Als de *face* links van een *edge* deel is van een ander vlakobject dan de face rechts, dan vormt die *edge* een deel van de geometrie van de grens tussen die twee vlakobjecten. Met dergelijke redeneringen kan men dan ook afleiden of een lijnobject, zoals een weg of een sloot, de grens tussen vlakobjecten vormt of dat het een vlakobject doorsnijdt. Op deze wijze is de volledige topologie van een gekarteerd gebied gespecificeerd op het niveau van de geometrische elementen. Topologische relaties tussen terreinobjecten volgen uit de wijze waarop die objecten aan de geometrische elementen gekoppeld zijn. Zo kunnen uit de basisrelaties van dit eenvoudige schema relevante ruimtelijke relaties tussen terreinobjecten afgeleid worden. Dat betekent dat een database, waarin dit schema op enigerlei wijze gerepresenteerd is, kan worden bevraagd op al dergelijke relaties. Daar bovenop komen dan nog de mogelijkheden tot bevraging op thematische gegevens, gefaciliteerd door de representatieprincipes van Hoofdstuk **9**.

Een uitstapje naar 3D

In die tijd hebben we ook concepten ontwikkeld voor de uitbreiding van deze 2D modellen naar de representatie van drie dimensionale situaties, zie *Fig. 16,* (Molenaar, 1990, 1992). We konden aantonen dat dergelijke 3D modellen goed werkten en krachtig genoeg waren voor de representatie en analyse van bijna alle voorkomende reële en praktische situaties en de topologische structuur daarvan. Ook hadden we goed inzicht in de wijze waarop we die modellen moesten aanpassen om ze efficiënt te kunnen implementeren, zie (Rikkers e.a., 1994).

In een promotieproject op het ITC zijn deze ideeën, in combinatie met andere benaderingen uit de literatuur, verder uitgewerkt tot een integrale benadering voor het ontwerpen van 3D GIS (Pilouk, 1996). Na zijn wetenschappelijke promotie is dr. Pilouk bij ESRI in Californië (US) gaan werken om de ideeën te implementeren in de daar ontwikkelde software ARC-INFO. Na

het formuleren van deze modellen heb ik zelf niet meer gewerkt aan de realisatie van operationele 3D werkprocessen. Daarvoor was het nog te vroeg, want het zou nog zo'n twintig jaar duren voor de technologie en de GI-organisaties rijp waren voor de behandeling van 3D gegevensstructuren. Pas vanaf ca. 2010 heeft dat een vlucht genomen. De huidige implementaties hebben echter over het algemeen nog niet de volledige (topologische) potenties benut van de modellen die we destijds, nu 25 jaar geleden, al ontwikkeld hadden.

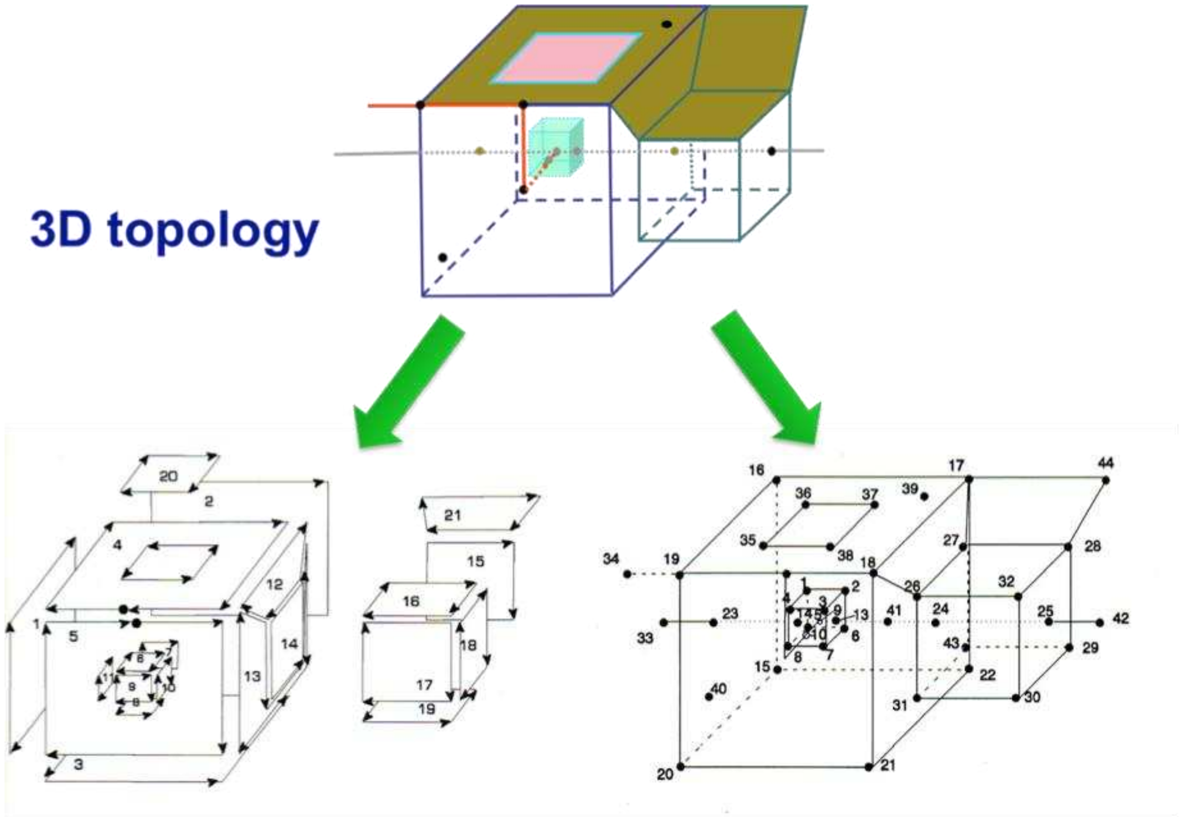


Fig. 16: representatie van ruimtelijk objecten met 3D topologie (Molenaar, 1992)

Terzijde

In de 2D-situatie wordt de geometrie volledig beschreven door punten, lijn-elementen, en met lijn-elementen omsloten vlak-elementen. Bij de uitbreiding naar 3D worden hieraan door vlak-elementen omsloten volume-elementen toegevoegd. Bij een situatie als in Fig. 16 leidt dat weliswaar niet tot complicaties, maar er zit wel een addertje onder het gras. En dat addertje was eerder ook al opgedoken ten tijde van de uitbreiding van het concept van Baarda's S-stelsels van 2D naar 3D; zie ***5.2***

Waar in de 2D-situatie een S-basis volledig door twee punten gedefinieerd was, bleek dat in 3D niet het geval. Daar moest aan de twee eerste punten r,s een derde punt t gedeeltelijk worden toegevoegd. Dat kwam omdat een S-stelsel in 3D nog om de zijde r.s kon draaien en deze draaiing moest worden vastgelegd om het S-stelsel volledig te kunnen bepalen.

Deze draaiing is in de 3D-ruimte verwant aan het begrip torsie, waarbij een lijnvormige object aan het ene uiteinde wordt vastgehouden en aan het andere uiteinde wordt gedraaid om de lengteas. Dit maakt in de 3D-ruimte een in zichzelf gesloten vlakke band mogelijk – de zogenoemde Möbiusring. Deze figuur ontstaat door een draaiing van de

band om de lengte as, gevolgd door de onderlinge aansluiting van het begin en het eind van die band, waardoor de voorkant overloopt in de achterkant. Om complicaties te vermijden, moet deze situatie uitgesloten worden bij een beschrijving van de 3D geometrie met behulp van de hiervoor genoemde geometrische elementen.

9 De lessen van Álora

9.1 Het objectbegrip

Door mijn opleiding als geodeet was ik gewend om een wat eenvoudig objectbegrip te hanteren. Het denken was gericht op fysieke topografische objecten als huizen, wegen, sloten, lantaarnpalen, etc. Voor dit type objecten zijn later, na mijn studietijd, standaarden geformuleerd zoals in het Terreinmodel Vastgoed. Daarnaast ging het in de opleiding ook over niet-fysieke juridische objecten zoals kadastrale percelen. Maar in beide gevallen betrof het altijd, vooral in geometrische zin, helder gedefinieerde objecten met scherpe in het terrein identificeerbare of construeerbare grenzen. Het meetproces richtte zich dan ook vooral op het vastleggen van die grenzen. De enige onzekerheid waarmee we daarbij te maken kregen, kwam voort uit de stochastiek van het landmeetkundige meetproces.

Later ontdekte ik dat dit eenvoudig objectbegrip beperkingen had. In de tijd dat ik bij het ITC werkte, werd al duidelijk dat bij andere disciplines het objectbegrip over het algemeen ingewikkelder lag. Bij collega's die luchtfoto's interpreteerden zag ik dat verschillende personen bij het identificeren van objecten meestal tot verschillende begrenzingen kwamen. Dit kwam doordat de kenmerken waarmee ruimtelijke eenheden herkend en beschreven werden niet uniform gehanteerd werden, zelfs individuele interpreteurs kregen bij herhaling van de waarneming variabele uitkomsten. Dus de kenmerken van de ruimtelijke eenheden die ze wilden vastleggen, waren lang niet altijd scherp genoeg gespecificeerd om luchtfoto's eenduidig te interpreteren.

Ook bij de verwerking van RS-beelden bleek vaak dat de spectrale signaturen van de beeldelementen, de pixels, niet scherp genoeg waren om bijvoorbeeld vast te stellen op welke soort bodembedekking deze betrekking hadden. Maten voor deze onzekerheden konden vervolgens per pixel berekend worden. IN deze voorbeelden bleek de onzekerheid in de geometrie van ruimtelijke kenmerken een gevolg te zijn van de onscherpe thematische specificaties van deze kenmerken.

9.2 Het objectbegrip blijkt niet-triviaal te zijn

Bovenstaande leidde al snel tot het inzicht dat voor veel karteerdisciplines niet in eerste instantie de precieze geometrie van belang is. Veeleer ging het erom hoe de ruimtelijke eenheden in thematische zin gedefinieerd waren en hoe hun ruimtelijke verdeling is over een gebied. Die informatie was vaak essentieel en voldoende voor het uitvoeren van ruimtelijke analyses. Door dit besef werd duidelijk dat objectdefinities begrepen moesten worden vanuit de context waarin deze werden gespecificeerd. Objectspecificaties bleken niet zo objectief als het woord deed vermoeden.

De lessen van Álora

Begin jaren '90 besloot een aantal vakgroepen van de Landbouwuniversiteit om een gezamenlijk zomer-veldpracticum te organiseren in Spanje in de provincie Andalucía (Molenaar en Loedeman, 2022). De meeste van deze vakgroepen organiseerden al practica in

Spanje, maar op verschillende locaties en in verschillende periodes. Het idee was om deze nu samen te voegen op één locatie, rond het plaatsje Álora iets ten noorden van Malaga, en allemaal in dezelfde periode in juni. Het ging om verschillende disciplines zoals agronomie, bodemkunde en geologie, en erosiestudies. Al deze disciplines zouden hun studenten veldwerk laten uitvoeren onder het gemeenschappelijke thema “Duurzaam Landgebruik”.

Mijn vakgroep, Landmeetkunde, voegde zich daar ook bij met twee groepen studenten. Ten eerste waren dat deelnemers aan het “zomerpracticum Landmeetkunde”. Dit waren studenten van de richting Tropische Cultuurtechniek. Hun veldoefeningen werden hier opgezet in overleg met de begeleiders van andere veldpractica, zodat de landmeetkundige resultaten voor die andere practica bruikbaar waren. De andere groep werd gevormd door studenten van het MSc-programma “GIS for Rural Applications”. Deze cursus werd gezamenlijk met het ITC verzorgd. De deelnemers waren hoofdzakelijk buitenlandse studenten, merendeels uit ontwikkelingslanden. Zij zouden de veldwerkresultaten van de andere practica invoeren in Arc Info, zodat ze geïntegreerd gebruikt konden worden voor ruimtelijke analyses in het kader van het overkoepelend thema van het veldwerk. Dat ging in technische zin naar alle tevredenheid, de studenten konden hun veldwerkresultaten controleren op kwaliteit en volledigheid, zowel geometrisch als thematisch.

Het geïntegreerde gebruik van de gegevens van de verschillende disciplines bleek echter zeer problematisch. Dat was niet een technisch probleem, maar hoofdzakelijk het gevolg van de eigen specificaties die alle betrokken disciplines aanhielden voor de in te winnen ruimtelijke gegevens. Daardoor was het niet goed mogelijk om deze gegevens inhoudelijk aan elkaar te relateren voor de gewenste gemeenschappelijke analyse. Iedere discipline had voor zichzelf bepaald welke de relevante ruimtelijke entiteiten waren en welke kenmerken daarvan moesten worden vastgelegd. De agronomen waren geïnteresseerd in landbouwpercelen, in hoe deze beheerd werden en wat de geschiktheid was voor het verbouwen van bepaalde gewassen. De bodemkundige keken vooral naar bodemeenheden vanuit het perspectief van bodemvormende processen. Voor de erosiestudies karteerde men erosiegeulen, en verschijnselen van bodemafspoeling en sedimentatie, etc. De specificaties van al die verschillende ruimtelijke entiteiten en hun kenmerken sloten nergens op elkaar aan, geometrisch noch thematisch. Dit leidde niet alleen tot discussies tussen studenten en hun begeleiders, maar ook tussen de begeleiders van de verschillende groepen onderling. Centraal in die discussies stond de vraag wat nu eigenlijk de bedoeling was van dit practicum ”Duurzaam Landgebruik”, welke gegevens in dat kader moesten worden ingewonnen, en welke analyses daarmee moesten worden uitgevoerd. Men had eenvoudigweg géén eenduidige antwoorden op deze fundamentele vragen.

Voor de betrokken studenten en begeleiders was dit een frustrerende situatie, maar voor de geo-informatici was het een heel leerzaam proces. Het maakte duidelijk hoe de specificaties van ruimtelijke entiteiten altijd binnen een specifieke context begrepen moeten worden. De relevante ruimtelijke eenheden en hun kenmerken hadden in het voorbeeld van Álora dus gespecificeerd moeten worden in het kader van de ruimtelijke analyses die men wilde uitvoeren. De gegevens zijn daardoor lang niet altijd bruikbaar voor andere doeleinden. Daarom is het in het algemeen vaak moeilijk om informatie uit te wisselen tussen disciplines en voor verschillende toepassingen: want wat voor de één interessant is, is voor de ander lang niet altijd bruikbaar, of zelfs niet begrijpelijk. In het geval van het practicum in Álora was wel

het thema “Duurzaam Landgebruik” geformuleerd, maar men had er verder onvoldoende over nagedacht wat dat nu feitelijk inhield en welke bijdragen de verschillende disciplines in dit verband zouden moeten leveren, ook niet hoe die bijdragen onderling op elkaar moesten worden afgestemd.

De deelnemers aan het landmeetkundige practicum leerden nog een andere les. Zij zouden andere disciplines ondersteunen met het meetkundig vastleggen van hun veldgegevens. Daarbij ging het vaak om de grenzen van de geïdentificeerde ruimtelijke eenheden. Op de vraag hoe nauwkeurig dat diende te geschieden kwam vaak het antwoord dat een nauwkeurigheid van één a twee decimeter gewenst was. Als de landmeters hun collega’s dan vroegen om die grenzen in het veld aan te wijzen, bleek meestal dat ze dat niet zo nauwkeurig konden doen en dat er tussen de door hen gevonden ruimtelijke eenheden vaak een vage overgangszone was van enkele meters breed of meer. Er waren helemaal geen scherp identificeerbare grenzen. Het probleem was niet de geometrische precisie, maar vooral de beperkte thematische identificeerbaarheid van die eenheden.

9.3 De thematische beschrijving van objecten

Contextgebonden objectspecificaties

Deze ervaring bevestigde de eerder gestelde bewering dat ruimtelijke objectdefinities in vele karteerdisciplines niet zo eenvoudig of eenduidig zijn als ik als geodeet had geleerd voor topografische of kadastrale karteringen. De objectspecificaties die daar werden gehanteerd waren tamelijk triviaal vergeleken bij die van andere disciplines. Deze ervaring illustreerde nog eens duidelijk wat in **9.1** ook al vastgesteld werd, namelijk dat objectdefinities altijd moeten worden begrepen vanuit de context waarin ze geformuleerd zijn. Bijvoorbeeld in de bodemkunde hebben ruimtelijke eenheden altijd betrekking op bepaalde bodemkenmerken, maar het maakt nog een groot verschil of deze gespecificeerd worden in het kader van de bodemvorming, de geschiktheid voor vormen van bodemgebruik, of het waterbergend vermogen of bodemhygiene, etc. Iedere vorm van analyse vraagt om haar eigen informatie en dus om haar eigen ruimtelijke eenheden en kenmerken. Zo zijn er nog vele voorbeelden te geven. Het veldwerk in Álora maakte dit nog eens goed duidelijk.

Deze ervaringen kwamen overeen met bevindingen opgedaan bij het MARS[21] project van de EU. Dat is in 1988 opgestart met als doel om over de hele EU met remote sensing landbouwarealen en oogsten te schatten. Daarbij bleek dat de thematische beschrijvingen van soorten landgebruik en types vegetatiebedekking niet alleen discipline-afhankelijk waren, maar ook nog eens binnen de disciplines varieerden per Europese regio.

In de samenwerking met collega’s met velerlei achtergronden werden ook andere zaken duidelijk, of eigenlijk onduidelijk. Het hanteren van begrippen – van vaktermen – was voor een niet-vakgenoot soms verwarrend. Zo hoorde ik van bodemkundigen vaak de uitdrukking dat ze “bodemeenheden” karteerden. Daarbij zou je kunnen begrijpen dat ze ruimtelijke eenheden karteerden op basis van bepaalde bodemkundige kenmerken. Maar de uitdrukking kon ook geïnterpreteerd worden alsof met “bodemeenheden” in feite bodemsoorten of bodemtypes werden bedoeld. Met deze soort- of type-aanduiding werden dan de bodemkenmerken bedoeld van een specifieke klasse van ruimtelijke eenheden. Op

[21] Monitoring Agricultural ResourceS

vergelijkbare wijze hanteerden vegetatiekundigen het begrip “vegetatie-type”, waarbij het niet direct duidelijk was of men hiermee ruimtelijke eenheden bedoelde of een soort vegetatie. Bovendien werd een vegetatietype vastgesteld door waar te nemen welke plantensoorten in welke verhoudingen in een gebied voorkwamen. De vraag was daarbij over welk oppervlak de samenstelling werd bepaald en hoe werd vastgesteld voor welke ruimtelijke eenheid deze representatief was.

Dit zijn slechts twee voorbeelden hoe disciplines hun veldwaarnemingen inrichtten en hoe men daarbij tot identificatie van te karteren ruimtelijke eenheden kwam. Andere voorbeelden worden later nog behandeld, niet alleen voor veldwaarnemingen maar ook bij de interpretatie van luchtfoto’s en bij de rs-beeldverwerking. Er bleek vaak een intrinsieke samenhang te bestaan tussen enerzijds het vaststellen van de thematische karakterisering èn anderzijds de ruimtelijke begrenzing van de karteereenheden. Bovendien was het bij de hantering van begrippen dus ook vaak niet duidelijk of deze nu op een thematische klassenspecificatie betrekking had of op de ruimtelijke identificatie van karteereenheden.

Thematische objectklassen

Vanwege het bovenstaande leek het zinvol om via een structurele benadering een methodiek te ontwikkelen voor het formuleren van informatiemodellen voor ruimtelijk georiënteerde disciplines. De te ontwikkelen methodiek moest generiek genoeg zijn om relevant te zijn voor een breed scala van toepassingen. Bovendien was het wenselijk om de methodiek niet direct af te stemmen op een speciale implementatie in ICT-omgevingen. Die implementatie kon dan later afgestemd worden op de werkomgeving van de gebruiker, waarbij in de te ontwikkelen methodiek duidelijk gemaakt moest worden welke categorieën van informatie een rol speelden en hoe deze categorieën gerelateerd waren.

Fig. 17: De attribuutstructuur van een thematische objectklasse (Molenaar, 1998b)

a) Relatie tussen objecten, klassen en attributen

In eerste instantie moest expliciet gemaakt worden welk deel van de ruimtelijke gegevens betrekking had op de thematische beschrijving en welk deel op de ruimtelijke. Hierbij werd uitgegaan van de twee basisstructuren weergegeven in **8.4** *Fig. 15*, die voor veld- en object-gestructureerde representatievormen. De veldstructuur is eenvoudig, daarom is in de uitwerking van de methodiek vooral de nadruk gelegd op de objectstructuur, die is interessanter voor wat betreft semantische uitdrukkingsmogelijkheden.

Meestal worden binnen een context verschillende soorten ruimtelijke entiteiten of objecten beschreven, die dan vervolgens in diverse thematische klassen worden ingedeeld. Thematische objectklassen omvatten groepen van objecten die doormiddel van een aantal voor die groep specifieke kenmerken beschreven worden. Daarom wordt aan iedere klasse een lijst met attributen toegevoegd, voor ieder kenmerk één attribuut. Per object worden dan aan die attributen waarden toegekend, zie *Fig. 17*.

Terzijde
Stel dat voor een gebied een kartering wordt uitgevoerd van de bodembedekking en dat we daarin de volgend klassen herkennen: bosgebied, natuurlijke graslanden, landbouw, water en bebouwd gebied. Dan zou men met deze informatie kunnen volstaan. Maar als er meer specifieke informatie gewenst is, dan kunnen aan iedere bedekkingsklasse attributen worden gehangen, waaraan waarden worden toegekend voor iedere de ruimtelijke eenheid die eronder valt. Zo zou men voor bosgebieden per ruimtelijke eenheid bij voorbeeld kunnen vaststellen:

- *Wat voor type bos het is: naaldbos, loofbos of gemengd*
- *Wat de samenstelling is van boomsoorten die er voorkomen*
- *De stamdichtheid*
- *Gemiddelde stamdoorsnede op borsthoogte*
- *Toename van houtvolume per jaar*
- *Etc.*

Evenzo kan dat voor de ruimtelijke eenheden die onder de andere klassen vallen, waarbij iedere klasse haar eigen specifieke attributen heeft.

b) Attributen en veldrepresentaties

Bij de veldstructuur ligt de koppeling tussen thematische informatie en geometrie directer (Fig. 18). Een veld wordt gekarakteriseerd door een aantal kenmerken, voor bijvoorbeeld een bodemkaart zijn dat: diepte van het grondwater, terreinhoogte, vochthoudend vermogen, etc. Dergelijke terreinkenmerken worden voor een veld gerepresenteerd door attributen. Daarvoor worden dan per locatie waarden bepaald. Die locaties kunnen worden weergegeven door coördinaten (x, y), of in een raster door rij- en kolomnummers, ook vaak aangeduid door twee indices (i, j).

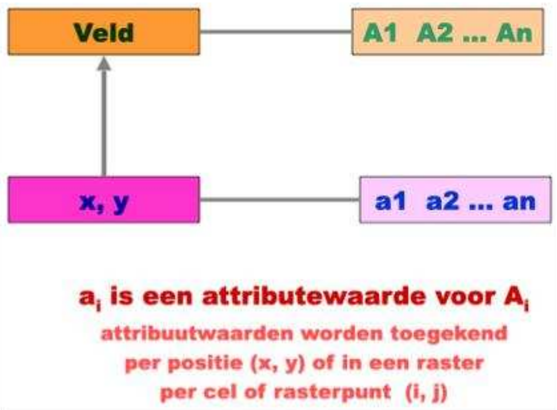


Fig 18: attribuutstructuur van een veldrepresentatie (Molenaar, 1998b)

c) De intentie en extensie van klassen

In de RS-beeldverwerking wordt de methodiek gehanteerd waarbij pixels in het beeld op basis van hun spectrale kenmerken worden toegevoegd aan bodembedekkingsklassen. Daarbij zijn dan van tevoren per klasse kenmerken vastgesteld op basis waarvan via een beslisfunctie besloten wordt of een pixel aan een bepaalde klasse wordt toegewezen of niet. In wezen geldt dat voor iedere vorm van classificatie. Dus ook bij het toekennen van een object aan een objectklasse moet van tevoren vastgesteld worden op basis van welke kenmerken dat zal gebeuren. Via een beslisfunctie D(O, C) wordt dan de toewijzing bepaald[22]. De voorwaarden waaraan een object moet voldoen noemt men de klasse-intentie en de verzameling objecten die daaraan voldoen is de klasse-extensie. (Carnap, 1956).

Bij geo-informatie kunnen we dan ook nog de *ruimtelijke extensie van een object* definiëren. Die wordt gegeven door de verzameling van de geometrische elementen, die de geometrie van

[22] Hierin is O een object en C een klasse

het object beschrijven, zie **8.4**. Daaruit volgt dat de *ruimtelijke extensie van een objectklasse* wordt beschreven door de samenvoeging van de ruimtelijke extensies van alle objecten die tot de klasse behoren.

De beslisfunctie D(O, C) representeert dus de klasse-intentie. Bij veldwaarnemingen, fotointerpretatie en RS-beeldverwerking moet men deze functie dus specificeren voor de toekenning van ruimtelijke eenheden aan objectklassen. Een probleem is dat deze specificatie niet altijd scherp geformuleerd kan worden, zodat deze toekenning behept is met onzekerheden.

9.4* Thematisch-geometrische partities (Single Valued Vector Maps, SVVM)

Een verzameling objectklassen representeert het "*thema*" van een kartering. In de ontwikkeling van de modelleringsmethodiek voor geo-informatie werden nu tweeledige consistentie-eisen geformuleerd. Voor de eenvoud beperken we ons hier tot een formulering voor vlakobjecten;

- Ieder object wordt aan één en slechts één klasse toegekend. Dus er zijn geen objecten die onder twee of meer klassen vallen en ook geen objecten die niet onder één van de klassen vallen. De klassen bevatten gezamenlijk alle objecten, maar overlappen elkaar niet. Dat wordt een thematische partitie genoemd.
- Alle objecten dekken gezamenlijk het hele gebied af, maar ze overlappen elkaar niet23. Ze vormen een geometrische partitie van het betrokken gebied.

Deze tweevoudige partitie kan aangeduid worden als een "thematisch-geometrische partitie" (TG-partitie)[24]. In vroegere publicaties (Molenaar, 1989a,b, 1998b) heb ik karteringen die aan deze eisen voldoen "*Single valued Vectormaps*" genoemd. De bedoeling van deze benadering was om voor terreinobjecten eenduidigheid in thematische en ruimtelijke specificaties te eisen. Bij de satellietbeeld-interpretatie ging dat nogal eens mis omdat bijvoorbeeld de classificaties voor bodembedekking en landgebruik door elkaar werden gehaald, met het gevolg dat ruimtelijke eenheden op twee verschillende wijzen aan klassen konden worden toegekend. Bij de hierboven geformuleerde thematisch-geometrische partities wordt dat voorkomen. De eis houdt in dat thematische objectklassen in ruimtelijke zin volledig dekkend en gescheiden zijn. De klassen vormen tezamen het thema van de kartering, en als ze aan de voorwaarden van een TG-partitie voldoen vormen ze een "*eenduidig gedefinieerd thema*": alle onder die klassen vallende objecten bedekken de gekarteerde ruimte in geometrische zin volledig en overlappen elkaar niet. Het gevolg is dat ook de thematische klassen elkaar in ruimtelijke zin niet overlappen, maar de gekarteerde ruimte wel volledig afdekken.

Mochten er nu bij een kartering wel overlappende objecten voorkomen dan zijn er in hoofdlijn een aantal mogelijkheden ter verklaring daarvan, zoals:

- De klassen zijn niet goed gekozen, bijvoorbeeld er zijn klassen die niet goed van elkaar zijn te onderscheiden.
- De kartering betreft *crispe* objecten, d.w.z. objecten waarvan de grenzen in geometrische zin precies bepaald kunnen worden. In dat geval kan het zijn dat het

---

[23] Dat betekent dat er geen vlakelementen zijn die tot de ruimtelijke extensies van twee of meer vlakobjecten behoren.

[24] De toelichting betreft representaties die alleen uit vlakobjecten bestaan. Bij toevoeging van punt- en lijnobjecten zijn er aanvullende eisen, die zijn hier niet toegevoegd om deze beschrijving van de aanpak eenvoudig te houden. Zie (Molenaar, 1989a,b en 1998b)

thema van de kartering niet scherp is gedefinieerd, zodat er klassen van meer dan één thema in voorkomen. In dat geval zal niet worden voldaan aan de voorwaarde van een TG-partitie. Klassen kunnen elkaar overlappen en objecten ook. De thematische specificaties moeten dan opnieuw bezien worden.

- De kartering betreft *niet-crispe* objecten, dus objecten waarvan de grenzen of ruimtelijke uitgebreidheid, extensie, niet precies kan worden bepaald, zie **9.6**. In dit geval kunnen de objecten elkaar overlappen vanwege die onduidelijkheid, ook als het thema van de kartering eenduidig gedefinieerd is.

De hantering van het principe van de TG-partitie geeft nu een instrument om te analyseren wat er aan de hand is wanneer er in een kartering een overlap optreedt tussen klassen en/of tussen objecten. Indien voor een bepaalde kartering de eis van een TG-partitie niet gesteld hoeft te worden, dan moet dat expliciet vermeld worden. Als die eis echter wél gesteld wordt, dan moet in voorkomende gevallen gezocht worden naar de oorzaak van die overlappingen. Men zal dan moeten bezien hoe daarmee om te gaan.

9.5 Objecthiërarchieên

Classificatiehiërarchieën

Voor ieder karteringsthema moet bepaald worden welk detailniveau gehanteerd zal worden. De keuze voor meer detail zal meestal tot gevolg hebben dat de thematisch objectklassen dan ook gedetailleerder of preciezer gespecificeerd moeten worden. Zo kan men op een bepaald niveau landbouwgebieden identificeren naast gebieden met een natuurlijke vegetatie. Meer gedetailleerd kunnen de gebieden met natuurlijke vegetatie uitgesplitst worden in natuurlijke graslanden en bosgebieden. Gaat men nog verder in detail, dan kunnen de bosgebieden uitgesplitst worden in loofbos en naaldhout, en de landbouwgebieden in weidegrond en akkerbouw. Dit is verbeeld in *Fig. 19,* voor een gebied met meerder vormen van landgebruik en dus meerdere landgebruiksklassen.

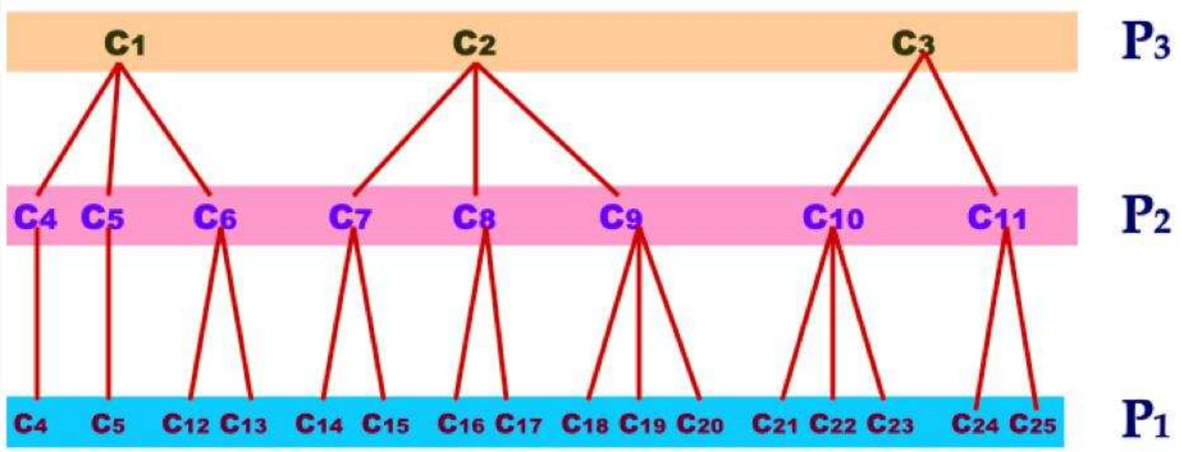


Fig. 19: Thematische partities en classificatiehiërarchieën (Molenaar, 1998b)

Bij overgang van een hogere klasse naar een lagere spreken we van klassenspecialisatie. In omgekeerde richting worden klassen samengevoegd tot gegeneraliseerde klassen, en vervolgens tot superklassen. Men spreekt dan van klassengeneralisatie. In de linker boom van *Fig. 19* is te zien dat sommige klassen op verschillende niveaus voorkomen; dus bij overgang van een classificatieniveau naar het meer gedetailleerde niveau daaronder, worden niet

noodzakelijk alle klassen uitgesplitst. Ook in omgekeerde richting kunnen dus bepaalde klassen gehandhaafd worden op verschillende niveaus van classificatie.

Bij goed gevormde classificatiehiërarchieën, zoals in *Fig. 19,* valt bij een niveau-overgang van beneden naar boven iedere klasse telkens onder precies één superklasse op het bovenliggende niveau. Er kunnen wel meerdere klassen aan één en dezelfde superklasse worden toegewezen. Men spreekt van een klassenhiërachie "in strikte zin". Indien de klassen op het laagste niveau een TG-partitie vormen, dan geldt dat ook voor alle bovenliggende niveaus. Daarom worden de niveaus in *Fig. 19* aangeduid als P_1, P_2 en P_3 (P staat hier voor partitie).

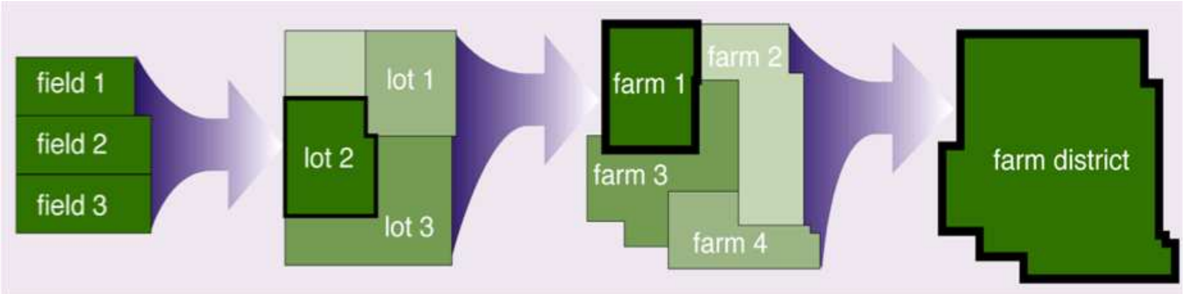
Aggregatie van objecten

Hierboven werd op basis van een aantal classificatiehiërarchieën een verticale samenhang van ruimtelijke objecten geschetst. Daarnaast is er ook nog een ander type verticale samenhang van ruimtelijke objecten. Deze was natuurlijk wel bekend vanuit verschillende ruimtelijke disciplines, maar in de beschrijving van objectgerichte methoden binnen het ICT-domein werd deze meer expliciet geformuleerd. Het ging om de situatie waarin objecten worden samengevoegd tot één samengesteld object. Dit zijn de zogenaamde geaggregeerde objecten. Het bleek handig om dit concept ook voor ruimtelijke objecten expliciet te formaliseren. Daarbij werden in hoofdlijn een paar vormen van objectaggregatie herkend, zoals hieronder wordt toegelicht. Voor al deze vormen geldt telkens dat meerdere objecten worden samengevoegd tot één samengesteld object; en zo'n samengesteld object kan dan weer met andere (samengestelde) objecten een nieuw hoger geordend samengesteld object vormen. Daarbij wordt de regel gehanteerd dat ieder object onderdeel kan zijn van slechts één samengesteld object van een bepaald type. In het voorbeeld hieronder kan een landbouwperceel slechts onderdeel zijn van één kavel en die kavel kan slechts tot één bedrijf behoren. Dus per type aggregaten is er een relatie van n:1 tussen meerdere (samenstellende) objecten en één geaggregeerd object. In bepaalde thematische domeinen kan de strikte n:1 relatie gelden voor alle daarin gevormde aggregaten, dus onafhankelijk van het type aggregaat. Zo kan een landbouwperceel alleen tot één bepaalde landbouwkavel behoren en niet tegelijkertijd tot een industrieel bedrijventerrein.

a) Functionele objectaggregatie

In **8.2** werd al kort genoemd hoe het gebruik van kennis over de grenzen van landbouwpercelen leidde tot een verbeterde identificatie van landbouwgewassen in RS-beelden. Het in (Janssen, 1994) beschreven onderzoek ging echter nog verder dan dat. De informatie over de arealen van verbouwde gewassen die de boeren ieder jaar in mei opgaven voor de landbouw-inventarisaties, de mei-tellingen, bleken niet altijd betrouwbaar. Daarom werd geprobeerd om die arealen ook uit RS-beelden af te leiden. De toen beschikbare Landsatbeelden hadden echter een te grove resolutie om dat te kunnen doen, maar extra kennis van de ruimtelijke context hielp om toch redelijk goede resultaten te krijgen. De indeling in percelen gebeurde ieder jaar altijd binnen landbouwkavels, omdat deze vaste grenzen hebben. Het onderzoek van Janssen was gericht op de Flevopolder waar die kavels over het algemeen rechthoekig zijn. De ervaring leerde dat de grenzen van landbouwpercelen meestal evenwijdig aan en loodrecht op de kavelgrenzen zijn getrokken. Deze aanvullende informatie hielp om tot betrouwbare identificatie van perceelsgrenzen te komen en daardoor meer betrouwbare schattingen van de arealen te geven.

Uit inventarisatie van de vormen van bedrijfsvoering in de landbouwregio van het onderzoek, bleek bovendien dat de bedrijven in die regio een beperkt aantal gewasrotatieschema's hanteerden. Zo'n schema bepaalt de volgorde van gewassen die over meerdere jaren op bepaalde percelen worden verbouwd. Op basis van kennis over het gewas op een perceel in een bepaald jaar, kan dan met een redelijke kans voorspeld worden welk gewas er het volgende jaar wordt verbouwd. Deze voorkennis maakte de betrouwbaarheid van de gewasidentificatie aanzienlijk betrouwbaarder.



Fig, 20: Vier aggregatieniveaus bij agrarische landgebruik (Molenaar, 1998b)

De keuze van gewasrotatieschemas wordt meestal gedaan binnen de context van besluitvorming op meerdere niveaus. In een landbouwregio vindt men bijvoorbeeld de volgende aggregatieniveaus, zie *Fig. 20*[25]:

- De infrastructuur van wegen en waterlopen is per regio ontworpen en wordt ook per regio beheerd; en daarom wordt ook het beheer van grond- en oppervlaktewater regionaal geregeld. Binnen die context zullen boeren geneigd zijn om een bepaald type bedrijfsvoering te ontwikkelen.
- Per boerderij realiseert men een bepaalde bedrijfsvorm; en in dat kader zal gekozen worden voor de gebruiksvorm van de kavels.
- Per kavel wordt bepaald het type gebruik bepaald: wordt het weidegrond, of komen er meerjarige gewassen, of komen er roterende gewassen, etc. De vorm en grootte van percelen wordt bepaald binnen de geometrie van de kavels.
- Per perceel wordt een gewaskeuze bepaald, en daarmee is tijdens het groeiseizoen ook de gewenste behandeling van dat gewas en van de bodem per perceel bepaald.

Deze inzichten maakten het wenselijk om in het beeldverwerkingsproces informatie in te voeren over de samenhang tussen de verschillende aggregatieniveaus. Lucas Janssen gebruikte zo de informatie over gewasrotatieschema's op het niveau van landbouwregio's en vertaalde die door naar het perceelsniveau om deze te gebruiken voor de identificatie van landbouwgewassen (Janssen, 1994).

De hier beschreven vorm van objectaggregatie hebben we *Functionele objectaggregatie* genoemd – in (Molenaar, 1998b) was dat *Functionele generalisatie* - omdat er een functionele hiërarchische samenhang bestaat tussen de verticaal geordende objecten. De context voor het bepalen van het gebruik van objecten is hierin voor een belangrijk deel van boven naar beneden gericht; terwijl de status van de objecten voor een groot deel van beneden naar boven wordt

[25] In deze figuur is de vertaling van de Engelse termen: field = landbouwperceel, lot = kavel, farm = boerderij, farmdistrict = landbouwregio.

gegeven. Zo bepalen in dit voorbeeld de productieopbrengsten van de samenstellende percelen de opbrengsten van de kavels; en deze bepalen op hun beurt gezamenlijk de opbrengst van het bedrijf. Op gelijksoortige wijze bepalen de investerings- en beheerskosten van de percelen voor een belangrijk deel die van de kavels; en de kosten van de kavels samen met de overige investerings- en bedrijfskosten weer die van het bedrijf. Omdat die kosten in verschillende, besturings- of managementprocessen een rol spelen is hierbij de rol van de objecten op de opeenvolgende niveaus verschillend; dit echter wel altijd in de context van de bovenliggende lagen. De thematische informatiebehoefte over de objecten op de diverse niveaus is daarom verschillend, zodat voor ieder niveau een eigen thematisch classificatieschema moet worden geformuleerd met eigen attribuutstructuren. Vaak zal dan de informatie van objecten op een lager niveau op een of andere wijze worden overgedragen naar objecten op het bovenliggende niveau; bijvoorbeeld vormen de gewasopbrengsten van percelen gezamenlijk de opbrengst van kavels, en die weer die van boerderijen, en die dan weer de opbrengst van een landbouwdistrict.

b) Structurele objectaggregatie

Een andere vorm van objectaggregatie is gebaseerd op onderliggende ruimtelijke netwerkstructuren, zoals wegen- en stratenstelsels, of stroomgebieden. De eerste toepassingen van deze benadering in mijn groep in Wageningen waren die van een masterstudent uit Spanje en een PhD-kandidate uit Canada. De masterstudent verkende de methodiek aan de hand van een afstroomnetwerk in Spanje (Martinez Casanovas, 1994) (Molenaar en Martinez Casanovas, 1997). De PhD-kandidate onderzocht de generalisatie van kleinschalige kaarten van de Canada Centre for Mapping (CCM) (Richardson, 1993). Zie ook **10.1.b.**

Fig. 21 is ontleend aan het voorbeeld in Spanje. De linker figuur wordt vereenvoudigd tot de rechter, doordat minder belangrijke stroomsegmenten worden weggelaten. Dit gebeurt op voorwaarde dat het overblijvende stroomnetwerk topologisch intact blijft. Het gevolg is dat de opvanggebieden van de weggelaten stroomsegmenten worden geaggregeerd met die van de overgebleven segmenten, zodat deze geaggregeerde opvanggebieden ook de gezamenlijke afvoer van de samengevoegde stroomgebieden representeren.

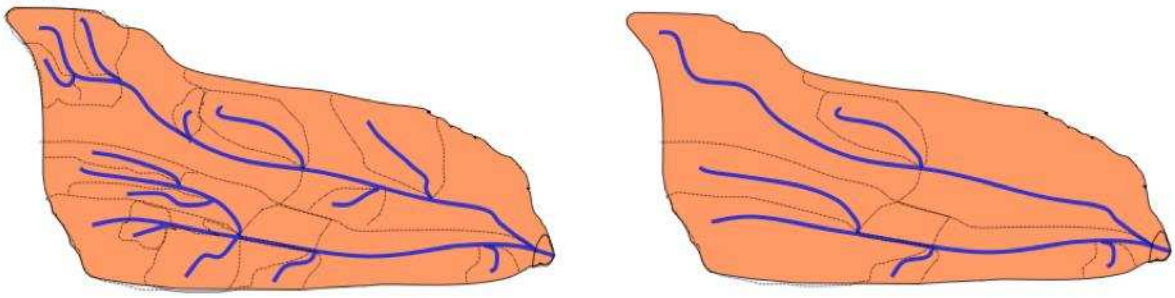


Fig. 21: Structurele aggregatie
links: stroomgebied met gedetailleerd stroomnetwerk
rechts: stroomgebied met alleen het hoofdnetwerk (Molenaar, 1998b)

Omdat deze structurele benadering het aggregatieproces bepaalt, spreken we hier van *structurele objectaggregatie,* in (Molenaar, 1998b) werd dat nog *structurele generalisatie* genoemd. In algemeen opzicht gaat het hierbij om de uitdunning van netwerken waarbij de overblijvende netwerkstructuur topologische intact blijft. Andere voorbeelden betreffen verkeersnetwerken, netwerken van leidingen, of spoorwegen etc.

c) Nog twee aggregatiestrategieën

Naast de twee bovengenoemde strategieën voor objectaggregatie bleek voor andere toepassingen het ook zinvol om objecten te aggregeren op basis van de thematisch beschrijvingsstructuur, zoals behandeld in **9.3** en bij *Fig. 19*. Wanneer de thematische beschrijving van objecten een hiërarchische structuur heeft, dan zijn objecten toegekend aan de klassen op het laagste niveau in het systeem. Wil men deze objectstructuur vereenvoudigen, dan is een eerste stap gegeven door de mogelijkheid om objecten van dezelfde klasse die aan elkaar grenzen samen te voegen. In een volgende stap kan de thematische beschrijving daarvan minder gedetailleerd zijn door in het hiërarchisch systeem omhoog te gaan naar meer algemene objectklassen. Daarna kunnen dan weer onderling aangrenzende objecten van dezelfde klasse samengevoegd worden. Zodoende krijgt men per stap omhoog een steeds meer generaliseerde beschrijving van het weergegeven gebied. Deze benadering noemen we *themagestuurde objectaggregatie* (Molenaar, 1998b).

Deze benadering wordt bij de RS-beeldinterpretatie meestal in omgekeerde richting gevolgd, zie **10.2**. In een eerste stap worden dan algemene bodembekkingsklassen gedetermineerd, die bij volgende stappen in steeds gedetailleerdere klassen worden uitgesplitst. Per stap kan dan vaak een groter aantal kleinere ruimtelijk eenheden worden gevonden die onder deze gedetailleerdere klassen vallen.

Daarnaast kan het zijn dat bepaalde objecten als te klein worden bevonden om ieder apart te worden weergegeven, of dat bepaalde geometrische kenmerken als niet meer relevant worden beschouwd. In dat geval kunnen deze te kleine objecten worden opgenomen in overblijvende objecten. Dit noemen we *geometriegestuurde aggregatie*. Een variant daarop is dat objecten om andere redenen niet belangrijk genoeg worden gevonden en vervolgens worden weggelaten. Als men eist dat de terreinweergave een TG-partitie vormt, dan zal men moeten kiezen wat er met de eventueel openvallende ruimtelijke segmenten moet gebeuren.

d) Objectassociaties

Objectassociaties vormen nog weer een andere categorie van samengestelde objecten. Hierbij vervalt de eis dat de relatie tussen samenstellende geassocieerde objecten en de daaruit samengestelde objecten n:1 is. Hierbij kunnen dus per type associatie n:m relaties voorkomen tussen samenstellende objecten en associaties. Neem als voorbeeld de relatie tussen wegvakken en verkeersroutes, de genummerde A-wegen. Bepaalde wegvakken kunnen tot meerdere routes behoren. Zo loopt in Nederland de route A50 gedeeltelijk over dezelfde wegvakken als de route A12; en dat geldt ook voor de route A1 en de route A35.

9.6 Tot slot

Hierboven werd een aantal basisbegrippen voor de representatie van ruimtelijke gegevens toegelicht. De begrippen genoemd in **8.3** en **8.4** en die in **9.3**a en Appendix I, vindt men allemaal wel terug in verschillende geo-informatie systemen die in de jaren ’80 en ’90 op de markt kwamen. Maar er zijn weinig systemen uit die tijd waarin men àl deze begrippen terugvindt. Zoals in **8.2** al is aangegeven gebruikte ik in mijn publicaties geabstraheerde formuleringen om het denken over geo-informatie los te koppelen van die beschikbare GI-systemen. De opzet daarbij was dat men zich bij het formuleren van modellen voor geo-informatie zou concentreren op de problemen waarvoor die modellen moesten worden ingezet. Het feitelijke implementeren in operationele GI-systemen kwam dan pas in tweede instantie.

De beschikbare GIS-pakketten kenden toen echter nog geen implementaties van de onderwerpen van **9.5** en **10.3**.

In de hiërarchische structuren van **9.5**, herkent men duidelijk de taxonomieën en partonomieën, dat wil zeggen de “IS-A” en “PART-OF” relaties, uit de toen opkomende object-georiënteerde methoden in de ICT-wereld. Die methoden moesten echter wel worden aangepast om als informatiemodellen voor geo--informatie te kunnen worden gebruikt. Daarnaast was toen het concept van dubbel-partitie, of TG-partitie, eigenlijk geen gangbaar begrip. Al deze onderwerpen zouden echter wel een rol van toenemend belang gaan spelen in het onderzoek van veel promovendi die ik in de loop van de jaren zou begeleiden. Een eerste benadering voor een samenhangend conceptueel kader voor deze geo-informatiemodellen kreeg eind jaren’80 in hoofdlijnen vorm, (Molenaar, 1989c,d) en (Molenaar, 1991).

10 De bijdragen van promovendi

De hierboven beschreven ideeën voor de modellering van geo-informatie gaven een conceptueel kader voor de vraagstelling in een 30-tal projecten van promovendi. Deze onderzoeken werden uitgevoerd bij de vakgroep in Wageningen en later aan het ITC en in samenwerking met een aantal Duitse collega’s. Een overzicht van deze onderzoeken wordt in Annex 4 gegeven. In Annex 5 staan daarvan korte inhoudelijke beschrijvingen. In **9.5** is al naar enkele promotieonderzoeken verwezen als toelichting op hiërarchische objectmodellen.

In dit hoofdstuk worden er een paar onderzoeken uitgelicht ter illustratie van de potentie van de ontwikkelde theorie voor de aanpak van destijds nieuwe en complexe toepassingen. Andere worden beschreven omdat die onderzoeken aanleiding gaven tot een verdere uitwerking van het objectbegrip.

10.1 Database operaties

Databases die op basis van de FDS zijn ingericht, bleken diverse mogelijkheden te bieden voor complexe bewerkingen van geo-data. Twee daarvan worden in de hieronder beschreven promotieprojecten behandeld. Deze betreffen de volgende onderwerpen:

– *Interoperabiliteit*: In de jaren ’90 groeide het aantal organisaties dat ruimtelijke informatie verzamelde en gebruikte. Daarmee nam de diversiteit aan gegevensbestanden snel toe. Dat had tot gevolg dat vaak dezelfde, vergelijkbare en/of gerelateerde informatie op meerdere plaatsen werd opgeslagen. Bij gebruikers groeide de behoefte om gegevens uit die databases geïntegreerd te kunnen gebruiken. Hiermee ontstond het probleem van interoperability van de bestanden.

– *Database-generalisatie*: In **9.5** werd de samenhang geschetst tussen terreinbeschrijvingen op meerdere schaal- of aggregatieniveaus. Dit probleem is verwant aan het proces van kaartgeneralisatie. De vraag is dan hoe databases, die ingericht zijn op basis van de concepten van hoofdstuk **9**, ingezet kunnen worden voor de generalisatie van geo-data.

Interoperabiliteit

Gebruikers van geodata zochten naar mogelijkheden om voor het oplossen van hun vaak complexe problemen gegevens uit meerdere databases te integreren. Het probleem was hoe zij op een efficiënte manier de informatie konden vinden en gebruiken. Het ging daarbij dus om de interoperabiliteit van die databases. Bij het zoeken naar oplossingen hiervoor, ontstond het

concept van Geo-Informatie Infrastructuren (GII). Dat concept hield in dat de gezochte databases in een netwerk werden opgenomen, en dat zoekprocedures moesten helpen bij het vinden van de benodigde informatie. Dat was in een de tijd dat zoekmachines voor de World Wide Web nog niet ver ontwikkeld waren; daarom werd gezocht naar eigen oplossingen voor geo-informatie.

Yaser Bishr, een promotiekandidaat van het ITC, ontwikkelde zoekprocedures op heterogene databases (Bishr, 1997). Deze heterogeniteit betrof de gehanteerde ruimtelijke informatiemodellen samen met de architectuur van de databases waarop deze geïmplementeerd waren. Voor zijn oplossing ging Bishr uit van de FDS uit **8.4**, die hij gebruikte als basisstructuur van waaruit variaties in ruimtelijke modelleringen konden worden beschreven. Hij voegde daar een semantische laag aan toe om zoekprocedures te kunnen ontwikkelen. Omdat de specificatie van ruimtelijke gegevens altijd context-gebonden zijn raadde hij aan om die procedures altijd binnen de (ruime) context van een toepassingsdomein te benaderen. Dr. Bishr heeft na zijn promotie een indrukwekkende cv opgebouwd: hij stichtte verschillende start-ups in het domein van location-based services, in zowel Duitsland als in de US. Later werd hij directeur Business Development bij Lockheed Martin in Washington DC. Nu is hij Executive Director van de Digitale afdeling van "Al Jazeera Media Network".

Database-generalisatie

a) Datadabase-generalisatie vs kaartgeneralisatie

Onder cartografen leefde al langere tijd de vraag hoe het proces van kaartgeneralisatie, het omzetten van grootschalige naar kleinschalige kaarten computer-ondersteund kon worden, of nog liever geautomatiseerd. Het ging hierbij om een handmatig proces, uitgevoerd door ervaren vakmensen. Het onderzoek richtte zich sterk op het vastleggen van de door cartografen gehanteerde regels, zodat men die kon invoeren in zogeheten "expertsystemen". Dit onderzoek viel nog geheel binnen het traditionele kaartparadigma, want men ging uit van het omzetten van een grafische weergave naar een andere, gegeneraliseerde, grafisch weergave. Daarbij werd vooral gelet op aspecten van leesbaarheid van die weergaven. Er werden wel wat algoritmes ontwikkeld om kronkelige lijnen minder kronkelig te maken, en om kaartsymbolen uit te dunnen en te verschuiven, zodat op een verkleinde schaal de grafische symbolen niet te dicht op of door elkaar zouden staan. Met deze algoritmen werden dan de zogenaamde tekenfiles, de files voor het aansturen van tekentafels aangepast. Het onderzoek was dus duidelijk gericht op de grafische aspecten van kaarten en niet of nauwelijks op de inhoudelijke kant van geo-informatie. Dit onderzoek toonde weinig vooruitgang en het ging grotendeels of geheel voorbij aan de mogelijkheden van de hierboven besproken datamodellen.

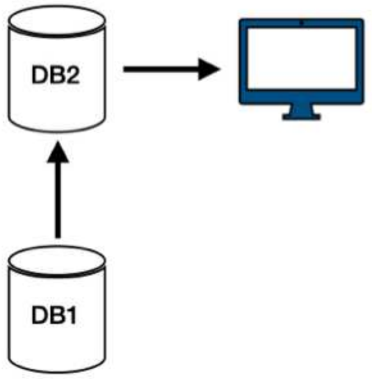


Fig. 22: Database-generalisatie en visualisatie

Met de opkomst van geo-informatiesystemen was er nu de mogelijkheid om dit proces anders te organiseren. Nu konden procedures worden ontworpen om een databestand DB1 om te zetten naar een geabstraheerd bestand DB2; zie het linkse deel van *Fig. 22*. Hierbij ligt dan de nadruk op de inhoudelijke aspecten van de opgeslagen informatie; en die is, zoals uitgelegd in hoofdstuk **9**, sterk bepaald door de gebruikerscontext. Deze benadering is dus gebaseerd op *database-*

generalisatie. Met procedures voor de visualisatie van die opgeslagen informatie kan men dan bepalen hoe deze gegevens grafisch gepresenteerd moesten worden, zoals boven in *Fig. 22*. Deze stap is dan verwant aan de cartografische generalisatie.

Meerdere promovendi hebben zich met dit onderwerp beziggehouden, waarbij vooral werd onderzocht welke rol topologische en hiërarchische relaties tussen objecten en thematische klassen hierbij konden spelen[26].

b) De mogelijkheden van structurele en functionele objectaggregatie

Dianne Richardson was medewerker van het Canadian Centre for Mapping (CCM), die afdelingen had voor Landmeetkunde, Cartografie en Remote Sensing. Als centrale producent van vooral federale topografische kaarten zocht deze organisatie naar strategieën voor kaartgeneralisatie. Diane Richardson had al een MSc-graad van het ITC waarvoor ze een eindscriptie schreef over kaartgeneralisatie op basis van een expertsysteem (een “rule base”) (Richardson, 1988). Haar organisatie produceerde kaarten op meerdere schaalniveaus. Gezien de omvang van Canada gaf CCM een Nationale Atlas uit met kaarten in het schaalbereik van $1{:}2.10^6$ tot $1{:}30.10^6$; op deze laatste past Canada op A3-formaat. Richardson richtte haar onderzoek op deze atlaskaarten.

Voor de ontwikkeling van een geautomatiseerde generalisatie-methodiek, ging ze uit van de gegevensmodellering in Hoofdstukken **8** en **9**. Na analyse van 110 kaarten in 44 thematische velden, afgebeeld op meerdere schaalniveaus, ontwikkelde ze stuurparameters voor de stapsgewijze generalisatie tussen de verschillende schaalniveaus. Deze parameters gaven aan hoe wenselijk de grafische representatie van de verschillende typen van objecten op ieder niveau was, en op welk niveau van classificatie hun thematische beschrijving moest worden weergegeven. Deze stuurparameters waren gebaseerd op twee principes:

- Allereerst werd er gekeken welk belang bepaalde gegevens hadden binnen de context van de gebruiker van de informatie.
- Ten tweede werd gekeken in hoeverre bepaalde gegevens van belang waren voor de leesbaarheid van de grafische weergave van de informatie.

Haar voorbeelden betroffen relatief dunbevolkte gebieden waar de ruimtelijke structuur werd bepaald door hydrologie, vormen van bodembedekking en bewoning. De hydrologie werd weergegeven in de vorm van hydrologische stelsels bestaande uit rivieren en meren, vgl. *Fig. 21*. Het generalisatieproces was een combinatie van structurele- en themagestuurde generalisatie. Het structurele aspect betrof de uitdunning van riviernetwerken, het themagestuurde aspect betrof de classificatie van bodembedekking en woonoorden. Met deze methodiek is een hoge mate van automatisering van het generalisatieproces bereikt.

Richardson ontwikkelde ook nog een evaluatiemethodiek waarmee de gebruiker het resultaat kan beoordelen en indien nodig bijsturen. Na de voltooiing van haar proefschrift (Richardson, 1993) ging ze terug naar CCM om haar methodiek te implementeren. Daarnaast heeft ze grote projecten geleid die betrekking hadden op het gebruik van RS voor ruimtelijke informatie-inwinning.

---

26 Uiteraard kwam met de opkomst van GIS ook de mogelijkheid om, naast een visualisatie op een scherm, ook via een scherm interactie met de database te hebben. Zo konden nieuwe grafische gegevens of correcties op bestaande gegevens ingevoerd worden. Dus tussen DB2 en het scherm moet dan ook een pijltje in omgekeerde richting worden toegevoegd.

Dit onderzoek kreeg een vervolg in 1994 in een project dat werd uitgevoerd in samenwerking met het Kadaster en de toenmalige Meetkundige Dienst van RWS. Die financierden het promotieonderzoek van John van Smaalen. Hij was een jaar eerder afgestudeerd aan de LUW en had stage gelopen bij het Canadian Centre for Remote Sensing, onderdeel van CCM. Daar had hij meegewerkt aan het implementeren van de onderzoeksresultaten van Dianne Richardson in een operationele omgeving. Zijn opdracht was de methodes van Richardson verder uit te breiden om te bezien of de TOP10-Vector, een 1:10.000 kaart, van de Topografische Dienst geproduceerd zou kunnen worden uit de GBKN[27]. Een aanvullende vraag was hoe de inhoud van de GBKN moest worden aangepast om tot een bevredigend resultaat te komen. Hij richtte zich daarbij op databasgeneralisatie. Zijn generalisatieproces doorliep meerdere stappen. De methode was in hoofdzaak gebaseerd op de drie volgende aggregatiestrategieën:

- Structurele aggregatie werd gebruikt voor het stapsgewijs uitdunnen van het verkeersnetwerk bestaande uit wegen en straten en van het netwerk van waterlopen. Uiteraard moest bij iedere stap de samenhang, de topologie, van het overblijvende netwerk in orde blijven.
- Functionele aggregatie werd gebruikt om gebouwen en tuinen of erven samen te voegen tot straatblokken. Bij het uitdunnen van het verkeersnetwerk moesten straatblokken samengevoegd, geaggregeerd, worden. In het buitengebied moesten bij het uitdunnen van het net van waterlopen dan landbouwgronden worden samengevoegd, soms moesten landbouwgronden ook met bedrijfsterreinen samengevoegd worden.
- Een variant van themagestuurde aggregatie werd toegepast bij objecten van bepaalde, meestal verwante, klassen die significant vaak naast elkaar voorkwamen, zoals bij straten gold voor de rijwegen en de trottoirs. Dat was dan een reden om uit deze klassen één nieuwe klasse te vormen en daartoe de onderling aangrenzende objecten samen te voegen.

Deze methodiek leidde tot zeer bevredigende resultaten. Bovendien bleek dat het proces zo kon worden ingericht, dat gebruikers met hun eigen specifieke criteria hun eigen producten konden genereren. Na afronding van het onderzoek is verder gewerkt aan de implementatie van deze generalisatiemethodiek. Dit gebeurde bij het Kadaster nadat de Topografische Dienst daarin was geïntegreerd. John van Smaalen werd later medewerker van ESRI-Nederland en is nu Geo-Adviseur bij de provincie Gelderland.

10.2 De rol van geo-informatie bij de RS-beeldinterpretatie

RS-beeldinterpretatie en de inbreng van de interpreteurs

In een aantal projecten van promotiekandidaten werd onderzocht hoe de geformuleerde geo-informatiemodellen van Hoofdstuk 9 konden worden ingezet bij de interpretatie van RS-beelden. Door de veelvuldige samenwerking met andere partijen kregen we beter zicht op de mogelijke meerwaarde van deze benadering in de context van reële toepassingsvraagstukken van gebruikers van RS-data.

In de jaren ’80 en begin jaren ’90 gingen beeldverwerkingstechnieken vooral uit van de in het beeld vervatte informatie. Algoritmes waren beschikbaar voor de analyse van de spectrale data per pixel. Op basis daarvan konden pixels toegekend worden aan spectrale klassen, die vaak

[27] Grootschalige Basiskaart van Nederland, een topografische kaart met schalen variërend tussen 1:500 en 1:5000.

weer werden doorvertaald naar bodembekkingsklassen. Aangezien RS-beelden een rasterstructuur hebben, werden ook algoritmes ontwikkeld voor de analyse van nabuurrelaties (omgevingsrelaties) van pixels. Hiermee konden bepaalde geometrische structuren in beelden worden herkend, of konden thematische of spectrale ruimtelijk-samenhangende beeldsegmenten worden geïdentificeerd.

Ervaring met de visuele RS-beeldinterpretatie en de luchtfotointerpretatie had echter al duidelijk gemaakt dat interpreteurs in dat proces veel eigen kennis inbrachten. Dat ging dan om kennis van de geografische context en kennis van de thematisch-inhoudelijke context van de in te winnen informatie. Het probleem was nu dat die ingebrachte kennis in het hoofd van interpreteurs zat, maar niet expliciet was gemaakt, laat staan geformaliseerd. Bij gevolg had het interpretatieproces een sterk op persoonlijke ervaring gebaseerd, en daardoor nogal ambachtelijk, karakter.

Ons streven was nu om op basis van de boven beschreven ruimtelijke informatiemodellen de inbreng van geo-informatie in het interpretatieproces expliciet te maken, hetgeen zowel de geometrische als de thematische aspecten betrof. In aansluiting daarop wilden we ook de beslismomenten van de interpreteur expliciteren, met daarbij de rol die de ingebrachte informatie in de te nemen beslissingen speelde. Door deze explicitering zou het interpretatieproces beter geformaliseerd kunnen worden, waardoor het een minder ambachtelijk en meer professioneel karakter kreeg. Bovendien werd het daarmee dan ook beter overdraagbaar, zodat andere interpreteurs sneller van de opgedane ervaring zouden kunnen leren. We hadden bovendien het vermoeden dat preciezere en betrouwbaardere resultaten konden worden bereikt door op deze expliciete wijze geo-informatie in te brengen in het interpretatieproces.

De ervaring leerde dat een interpreteur meestal gebruik maakt van het door een beeld gegeven gebiedsoverzicht en daarin in eerste instantie dan een aantal hoofdstructuren en patronen herkent. Daarna wordt vanuit die hoofdstructuur ingezoomd op een meer gedetailleerd niveau om de gevonden structuren verder in te vullen. Er kan dan weer worden teruggegaan naar een hoger aggregatieniveau, zo gaat dat vaak tussen verschillende detailniveaus op en neer voordat de te karteren karakteristieken van het terrein worden vastgelegd. De vraag is in hoeverre een ervaren interpreteur zich altijd bewust is van deze werkwijze. Welke structuren en welke details men zodoende detecteert, en welke terrein kenmerken men uiteindelijk vaststelt, is afhankelijk van de disciplinaire context en van het doel van de interpretatie.

Dit inzicht deed vermoeden dat vooral de hierboven beschreven hiërarchische objectmodellen een relevante rol konden spelen in het interpretatieproces. Daarbij gingen we er van uit dat interpretatie altijd wordt gedaan door een persoon met een specifieke disciplinaire achtergrond. Vooral bij het ontwikkelen van nieuwe toepassingen van RS-beeldinterpretatie is dat belangrijk.

De rol van objecthiërarchieën bij RS-beeldverwerking

De RS-beeldverwerking kent in hoofdlijn twee aspecten. Het eerste aspect betreft het identificeren van enerzijds spectrale klassen en anderzijds geometrische beeldkenmerken zoals texturen, segmenten en punt- en lijnstructuren. Het tweede aspect heeft betrekking op de beeldinterpretatie die erop is opgericht om deze kenmerken te vertalen naar terreinkenmerken. In **8.2** werden al wat opmerkingen gemaakt over de rol van de geometrie in de RS-beeldanalyse. De koppeling van de geometrie van percelen aan geometrische beeldkenmerken maakte het

mogelijk om de beeldclassificatie per perceel in plaats van per pixel uit te voeren. Dat gaf een behoorlijke verbetering in de kwaliteit van de classificatie. Een nadere beschouwing van de visuele beeldinterpretatie gaf aan dat dit proces een sterk meerschalig karakter heeft. Dat leidde tot de vraag hoe het gebruik van hiërarchische gegevensmodellen het interpretatieproces van RS-beelden transparanter zou kunnen maken en daardoor verbeteren. De verwachting was dat langs deze weg inzichtelijk zou worden welke aanvullende informatie over het terrein stapsgewijs in het interpretatieproces moest worden ingevoerd om tot gedetailleerdere en preciezere resultaten te komen.

Omdat beeldinterpretatie altijd in de context van bepaalde toepassingen gebeurt, werd het onderzoek naar de mogelijkheden van de beschreven methodische benadering altijd gedaan in projecten gekoppeld aan toepassingsvraagstukken van andere disciplines. In **9.5**a werd het concept van functionele aggregatiehiërarchieën uitgelegd in relatie tot het promotieonderzoek van Lucas Janssen (Janssen, 1994). Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van het toenmalige Wijnand Staringcentrum van DLO. Het stond in het kader van de Nederlandse landbouwinventarisaties en die van de EU. Het doel was om te komen tot een schatting van de arealen van landbouwgewassen die nauwkeurigere was dan de jaarlijkse informatie die de boeren leverden bij de jaartellingen in mei.

Janssen gebruikte kennis over de vorm van kavels om per jaar de grenzen te bepalen van de binnen die kavels vallende percelen. Daarmee kon hij uit de beeldclassificatie gewassen per perceel vaststellen. Daarbij verscherpte de aanvullende informatie over rotatieschema's deze gewas-identificatie. Deze benadering was mogelijk doordat Janssen beschikte over kennis van de typen van bedrijfsvoering in een landbouwregio, en daarmee over hoe bedrijven gewassen en percelen bewerkten. Dus informatie op een hoger aggregatieniveau ondersteunde de informatie-extractie op perceelniveau.

Na zijn promotie heeft Dr. Janssen op verschillende functies bij Rijkswaterstaat gewerkt, vooral op het terrein van RS en geo-informatie. Tussendoor heeft hij enige jaren op het ITC gewerkt, bij mijn leerstoel. Het laatste deel van zijn loopbaan was bij Deltaris. Daar vertrok hij om uiteindelijk kunstsmid te worden in Wageningen.

Jeroen Huising maakte op een geheel andere wijze gebruik van objecthiërarchieën voor de inventarisatie van landgebruik in Costa Rica. Zijn onderzoek betrof de formalisering van het hele proces van RS-beeldinterpretatie met alle daarbij behorende beslismomenten. Daarnaast speelde de vraag welke andere voordelen de inbreng van geo-informatie in dat proces nog zou kunnen hebben. Hierbij werd gedacht een de productie van preciezere, of meer gedetailleerde, en meer betrouwbare informatie. Verder hoopten we dat met deze benadering uit het interpretatieproces informatie kon worden afgeleid, die met de toen nog gebruikelijke methoden nog niet gevonden kon worden.

Het onderzoeksgebied van Huising betrof een deel van de Caraïbische zone van Costa Rica. Dit gebied werd gekenmerkt door een combinatie van natuurlijke vegetatie, vooral bossen en graslanden, en toenemende arealen van geteelde gewassen. Analyse van een serie luchtfoto's over meerder decennia toonde een aantal grotere ruimtelijke eenheden met stabiele grenzen. Huising identificeerde die als Landgebruikzones (LGZ, of LUZ in het Engels). Binnen die zones trof hij over decennia variabele patronen van landbedekking aan, grotendeels natuurlijke vegetatie, maar ook landbouwgewassen en plantages. Tevens vond hij binnen die zones variabele geometrische patronen die wezen op de aanwezigheid van landbouwpercelen. Hij

koos daarom de stabiele LGZ’s als uitgangspunt voor zijn analyses, en probeerde vervolgens uit de daarbinnen waargenomen dynamiek van de vegetatie en de geometrische patronen af te leiden welk type landgebruik de LGZs representeerden. Uit een sociale studie in het betroffen gebied volgde een inventarisatie van typen van landbouwbedrijven die per LGZ voorkwamen en van de economische status van die bedrijven. Al deze informatie werd toegevoegd aan de RS-beeldinterpretatie. In zijn project ging het daarbij om Landsatbeelden en het gebruik van de in hoofdstuk **9** behandelde modellen voor objectaggregatie-hiërarchieën en thematische klassen-hiërarchieën.

Hij ontwikkelde beslisbomen waarmee, uitgaande van een eerste globale beeldclassificatie, langs deze hiërarchieën stapsgewijs van boven naar beneden de beeldinterpretatie viel te preciseren en deze in thematische en geometrische zin gedetailleerder te maken. Voor de te nemen beslissingen kon hij dan bij iedere stap aanvullende informatie invoeren, zodat hij uiteindelijk tot op perceelniveau kon vaststellen welke gewassen er verbouwd werden. Zo toonde hij aan wat de potentie is van de integratie van geo-informatie en RS -beeldinterpretatie op basis van de modellen van hoofdstuk **9**. Deze werkwijze leidde tot resultaten op zeer gedetailleerd niveau, en maakte daarbij expliciet welke keuzes in het proces gemaakt werden en welke aanvullende informatie daartoe op ieder niveau toegevoegd werd. Dit laatste was niet alleen belangrijk voor de training van interpreteurs, maar het was ook een belangrijke stap in de richting van kennisgestuurde beeldinterpretatie.

Na het afronden van zijn proefschrift (Huising, 1993) werkte dr. Huising eerst als RS-GIS specialist bij de Meetkundige Dienst van RWS. Daarna was hij docent aan de Universiteit van Makerere in Uganda. Vervolgens werkte hij 9 jaar als onderzoeker op het gebied van Tropical Soil Biology and Fertility research bij CIAT in Nairobi, Kenya. Daarna werd hij Senior Scientist bij het International Institute for Tropical Agriculture (IITA) te Ibadan, Nigeria.

10.3 Uitbreiding van het object begrip

Toch nog een stukje kaartparadigma

De datamodellering die hierboven beschreven is ontwikkelde zich met de opkomst van de moderne informatica en vooral de geo-informatica. Zoals gezegd leunde ze zwaar op de ontwikkeling van object-georiënteerde technieken en methodes in de ICT-wereld. De ruimtelijke informatieverwerking brak daarmee los van het traditionele kaartparadigma. Toch waren de sporen van die traditie nog duidelijk te zien en wel op twee wijzen:

– *Ten eerste*: Op een kaart worden ruimtelijke entiteiten vooral weergegeven als punt-, lijn- of vlakobjecten. Kaarten werden tot voor enkele decennia getekend met pen, potlood of graveernaald. Daardoor dwong het medium ertoe dat de geometrische vorm en ligging van die objecten doormiddel van punten en – niet noodzakelijk rechte – lijnen worden beschreven. Voor vlakobjecten worden vorm en ligging beschreven met in zichzelf gesloten lijnen, de objectgrens. Deze vorm van weergave dwingt er bij karteringen toe om de geometrie van entiteiten als scherp bepaalbaar te behandelen.
– *Ten tweede:* Het vroegere productieproces van kaarten was zeer arbeidsintensief en de verzameling van topografische gegevens gebeurde toen vooral door veldwerk; en ingeval van luchtfotogrammetrie werd de kartering vanuit luchtfoto’s aangevuld met veldwerk. Daardoor zagen we kaarten als een weergave van de toestand op het aardoppervlak die met lange tussenposen werd bijgesteld. Dit leidde tot een statisch wereldbeeld.

Definitieve breuk met het kaartparadigma

Vooral het gebruik van RS-beelden leidde ertoe dat we ook ten aanzien van de twee hierboven genoemde aspecten verder afstand gingen nemen van het kaartparadigma.

Objecten zonder duidelijke grenzen

Zowel de remote sensing als de geo-informatietechnologie boden nieuwe mogelijkheden om fenomenen op het aardoppervlak weer te geven. Met name voor vlakobjecten hoefde men zich niet langer te beperken tot de weergave in de vorm van homogene eenheden omgeven door een grens. In RS-beelden, en dus ook in de rastergestructureerde GI-systemen, konden vlakobjecten behandeld worden als ruimtelijke eenheden met een interne ruimtelijke variabiliteit. Hierdoor was het niet langer nodig om een quasi scherpe grens aan te geven wanneer die in het terrein niet geïdentificeerd kon worden. Bij de RS-beeldclassificatie worden bodembedekkingsklassen toegewezen op basis van de per pixel waargenomen spectrale karakteristieken. Daarbij wordt bij sommige methoden per pixel voor iedere klasse een onzekerheidsmaat berekend of die toewijzing wel correct is. Deze onzekerheden kunnen in het beeld getoond worden. Als nu onderling aansluitende groepen van (buur)pixels worden samengevoegd tot ruimtelijke eenheden die tot een bepaalde bodembedekkingklasse behoren, dan geven de onzekerheidsmaten per pixel informatie over de zekerheid omtrent de geometrische uitgebreidheid van zo'n ruimtelijke eenheid. Thematische onzekerheid leidt zodoende tot ruimtelijke onzekerheid.

Een dynamisch wereldbeeld

Bovendien werd het steeds duidelijker dat de statische benadering, die gericht was op de weergave van de toestand van fenomenen op het aardoppervlak, vaak niet langer voldoende was. Men wilde ook veranderingen kunnen volgen, en daarmee kwam de vraag op hoe ruimtelijke processen geïdentificeerd en gemonitord konden worden. Hierbij gingen we in eerste instantie uit van processen op eenheden met een scherpe ruimtelijke geometrie. Paragraaf **9.5** gaf al het voorbeeld van de rotatie van gewassen in landbouwgebieden, zie (Molenaar en Janssen, 1993) (Janssen, 1994). Kennis van rotatieschema's hielp om met behulp van Markov-ketens gewassen per seizoen te identificeren en hun arealen te schatten. Dit was een lokatiegebonden proces. Andere typen processen zijn niet lokatiegebonden, zij betreffen fenomenen die zich over het aardoppervlak lijken te bewegen, zoals de groei van steden, of landbouwgebieden die natuurlijke vegetatie verdringen, of rivieren waarvan de loop zich over de jaren verlegt, etc. Het gaat dan vaak over ruimtelijke objecten die, op de schaal van weergave, een niet scherp te bepalen ruimtelijke uitgebreidheid hebben. De vraag is dan hoe dat soort processen gemodelleerd en gevolgd kunnen worden.

De onscherpte van thematische en ruimtelijke gegevens

a) De invloed van thematische onscherpte op ruimtelijke onzekerheid

De geavanceerde geodetische modellen voor de evaluatie van precisie en betrouwbaarheid, zoals beschreven in Deel I, hadden alleen betrekking op de geometrie. Onzekerheid daarin kwam voort uit de stochastische ruis op landmeetkundige en fotogrammetrische waarnemingen. In de landmeetkunde beperkte men zich vooral tot het aanmeten van karakteristieke punten van topografische en kadastrale objecten. De fotogrammetrie gaf ook de mogelijkheid om lijnen te volgen en aan te meten. Stefan Winter, een promovendus die ik samen met collega Förstner in Bonn begeleidde, heeft onderzocht hoe deze typen van

onzekerheid effect hadden op de ruimtelijke onzekerheid van vlakobjecten en op de relaties daartussen, zie **A5.1.1** in Annex 5 en (Winter, 1996).

Deze benadering bleek echter bij veel karteermethoden niet bruikbaar. De onscherpte van thematische specificaties bij de RS-beeldanalyse, maar ook die bij de luchtfoto-interpretatie en de veldwaarnemingen van verschillende disciplines, bleek vaak veel belangrijker. De daarbij optredende onzekerheden waren niet alleen van een totaal ander karakter maar ook veel complexer en moeilijker te vatten. In wezen beschrijven getekende grenzen in veel karteerdisciplines niet zozeer de precieze geometrie van ruimtelijke eenheden, veeleer geven ze een indicatie van hun ligging en ruimtelijke extensie. Daarmee duiden ze ook de ligging aan van ruimtelijke eenheden ten opzichte van elkaar, en daarmee dus hun topologische relaties en verdeling over het gekarteerde gebied. In dergelijke situaties zullen verschillende foto-interpreteurs en veldwaarnemers die hetzelfde terrein karteren in de regel verschillend gelokaliseerde grenzen trekken. Deze variatie in grensduiding is dan geen stochastische onscherpte in de begrenzingen van die ruimtelijke eenheden, maar een indicatie van de extensionele vaagheid die het gevolg is van de onscherpte in hun thematische specificaties. Die vaagheid is het gevolg van de onscherpte in hun thematische specificaties. Dit aspect werd voor mij eerst goed duidelijk bij de verwerking van RS-beelden.

Meerdere promovendi liepen er al tegenaan dat de RS-beeldclassificaties over het algemeen onzekere resultaten gaven. Dit kon bij landbouwkundige toepassingen meestal ondervangen worden door de gewassen per perceel te identificeren, zie (Janssen, 1994) en (Leeuwen, 1996) in **8.2.** Maar bij veel toepassingen was dit moeilijker, zeker waar het om gebieden met natuurlijke vegetatie ging, zie (Huising, 1993) in **10.2.** Zie Annex 5 voor andere voorbeelden. Dit probleem van niet scherp begrensde ruimtelijke eenheden moest nu in de geformuleerde ruimtelijke datamodellen ondervangen worden.

b) Als voorbeeld de onzekerheden bij de RS-beeldclassificatie

Het beeldclassificatieproces heeft de volgende basisstructuur. In een beeld zijn voor iedere pixel p stralingskarakteristieken vastgelegd van het door dat pixel waargenomen deel van het aardoppervlak. Op basis van die gegevens wordt via een beslisfunctie D[p, C] het pixel toegewezen aan een bodembedekkingklasse C. Dit is dan één specifieke klasse binnen een groep van mogelijke klassen, zoals beschreven in **9.3**. Vaak is die groep van tevoren vastgelegd, soms ontstaat ze uit het classificatieproces zelf.

In het geval dat de klassen scherp te onderscheiden zijn, geldt D[p, C] =1 indien het pixel p aan de klasse C wordt toegewezen; en D[p, C] = 0 indien dat niet zo is. Als de klassen niet scherp te onderscheiden zijn, dan is de uitkomst van de beslisfunctie onzeker, waardoor die dan een waarde kan aannemen van 0 tot en met 1.

Er kunnen verschillende redenen zijn voor zo'n onzekere uitkomst. De specificatie van de klassen kan onscherp zijn. Maar ook kan het zijn dat de stralingswaarden van p niet nauwkeurig zijn gemeten, of dat ze wel een indicatie voor de klassetoekenning geven, maar onvoldoende informatie bevatten om dat met zekerheid te doen. Bovendien kunnen er onzekerheden zijn ten aanzien van de geldigheid van beslisfunctie D[p, C].

De optredende onzekerheden zijn dus vaak van nogal verschillende aard, en daarom kan het eindresultaat van de beeldanalyse meestal niet eenvoudig als stochastisch worden op gevat.

Om die reden worden onzekerheden vaak op een andere wijze beschreven, zoals met *fuzzy logic*[28].

c) Drie soorten onzekerheid voor ruimtelijke objecten

Beeldanalyse eindigt niet noodzakelijkerwijs met een classificatie per pixel, vaak worden op basis van de pixelclassificatie vervolgens beeldsegmenten geïdentificeerd, zie (Gorte, 1998) (Cheng, 1999) (Schoenmakers, 1995). Die worden dan als vlakobjecten in het terrein herkend. Dit is een tweede beslisproces met extra onzekerheden ten aanzien van de identificatie van die objecten en hun extensies. Dat betekent dan dat de eventuele toevoeging van een pixel p aan de extensie van een een object O onzeker is. Dergelijke onzekerheden kunnen ook optreden bij de interpretatie van luchtfoto's en bij de karteringen van onscherpe ruimtelijke entiteiten in het veld. Maar doordat de beslismomenten in die gevallen dan niet zo duidelijk zijn te onderscheiden, is het verloop van indicatieproces minder scherp te doorzien dan bij de RS-beeldanalyse. Een RS-beeld heeft een rasterstructuur, en in **8.3** is de equivalentie van de vector- en rasterstructuur al aangetoond. Daarom kan de onzekerheid of een vlakelement f tot de extensie van een object O behoort in zijn algemeenheid worden weergeven door een aanpassing van de functie Part[f, O]. In plaats van alleen de waarden 0 *of* 1, kan deze functie nu alle waarden van 0 *tot en met* 1 krijgen, zie (*Fig. 23)*.

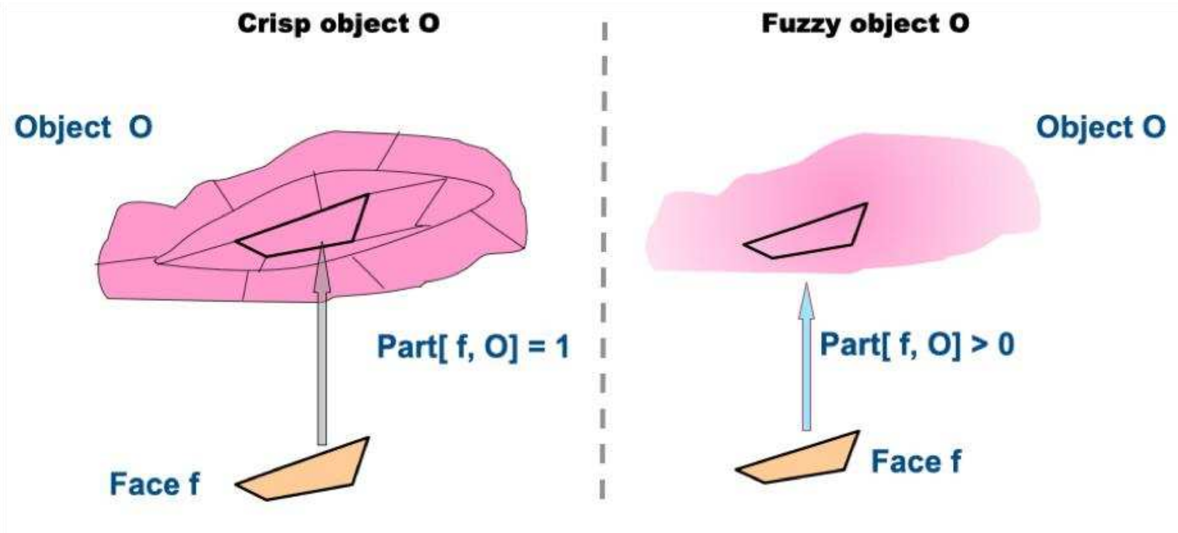


Fig. 23: geometrische representatie van crispe (scherp begrensde) en vage vlakobjecten. (Molenaar, 1998b)

Dus naast de landmeetkundige en fotogrammetrische stochastische nauwkeurigheidsaspecten van de aangemeten geometrie van ruimtelijke objecten, de *geometrische onzekerheid,* vinden we hier nog twee andere vormen van onzekerheid (Molenaar, 1998b):

- onzekerheid over het feitelijk bestaan van de objecten, de *existentiële onzekerheid*[29]*,*
- onzekerheid over hun ruimtelijke uitgebreidheid, dat is de *extensionele onzekerheid* .

---

[28] **Fuzzy logic** (soms **vage logica** of **wollige logica** genoemd) is een stroming binnen de logica waarin met waarschijnlijkheden wordt gerekend in plaats van alleen met de mogelijkheden 'waar' en 'onwaar'. Zie WWW.

[29] Daarbij is de vraag of de beschikbare gegevens wel genoeg informatie bevatten om vast te stellen of een object geïdentificeerd kan worden. Ik ben er zelf jammer genoeg niet meer aan toe gekomen om dit onderwerp verder uit te werken.

In de meeste karteerdisciplines, zoals bij veel Wageningse disciplines, zijn deze twee onzekerheden veel belangrijker dan de geometrische, hoewel er zelden expliciet aandacht aan wordt besteed. Als dat wel gebeurt, dan is dat via een andere benadering, zoals de toepassing van de geostatistiek. De extensionele onzekerheid houdt in dat het onzeker is of een face f wel of niet tot een object O behoort. In het crispe geval bestaat de ruimtelijke extensie van een object O uit alle vlakelementen f waarvoor Part[f, O] = 1, in het geval van een onzekere ruimtelijke extensie moet dan gelden dat Part[f, O] > 0,

Terzijde: voor oudere geodeten

De zone waar de extensionele onzekerheid een merkbare rol speelt, ligt meestal aan de buitenrand van objecten. Deze zone kan voor sommige soorten van objecten aanzienlijk zijn, zoals bij de overgang tussen bodemsoorten of vegetatietypes. Daar overtreft de breedte van die zones ruim de onzekerheidsmarges die kunnen ontstaan door de onzekerheid van landmeetkundige metingen. Maar bij de interpretatie van opnames met hoge resolutie, zoals digitale luchtfoto's of laserscan data, kan de extensionele onzekerheid van sommige topografische objecten vaak beperkt blijven tot een relatief smalle zone. De breedte daarvan komt dan in buurt van de landmeetkundige marges, die in de HTW'56 werden aangeduid als idealisatienauwkeurigheid. Vooral bij minder scherp identificeerbare grenzen, zoals uitgetrapte slootkanten in een weidegebied of de randen van zandwegen in natuurgebieden, speelde dit begrip een rol. Dit soort situaties werden door landmeters gezien als moeilijk te identificeren grenslijnen. Bij een benadering via de boven beschreven datamodellering, gaat het om de doorwerking van onscherpe thematische duiding: "wat is sloot en wat is weiland". Twee onzekere objectextensies ontmoeten elkaar in die voorbeelden. Zo kwam ik langs die weg terug bij de idealisatienauwkerigheid van de HTW'56.

De identificatie en het volgen van processen en procesrespons eenheden.

Het promotieonderzoek van Cheng Tao (Cheng, 1999) gaf een goede gelegenheid tot nadere studie van processen die aangrepen op vage objecten. Cheng Tao had een MSc-graad van WTUSM in China. De oorspronkelijk opdracht voor haar promotieonderzoek was het volgen van ruimtelijke processen die samenhangen met de interactie tussen zeestromingen en de kust. Zij beschikte over gegevens van de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat. Deze betroffen

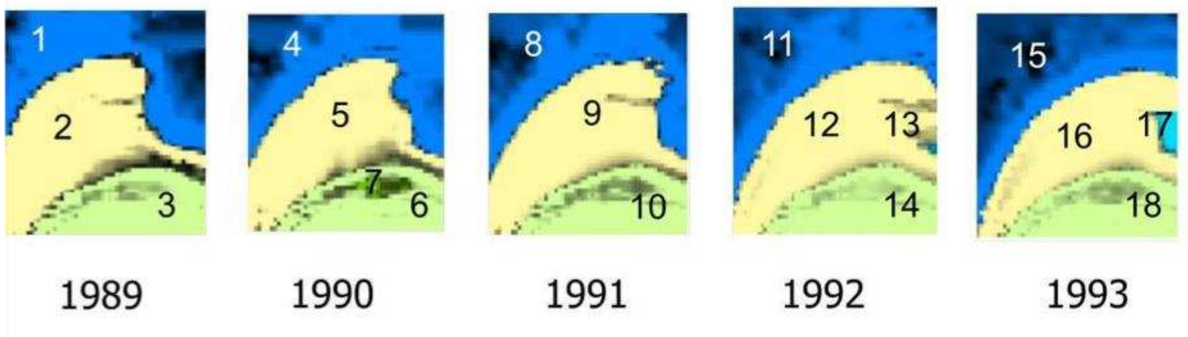


Fig. 24: Het monitoren van vage ruimtelijke objecten.
De dynamiek van de "bult" van Ameland. (Cheng, 1999)

hoogtemetingen van de kust van Ameland. Het strand heeft aan de noordwestkant van het eiland een verbreding, die met de tijd in oostelijke richting langs de kust beweegt.

Op basis van de hoogtegegevens onderscheidde ze vier categorieën van gebieden: de duinen, het strand, de zee en het gebied tussen hoog- en laagwater (in het Engels "the foreshore"). De

overgang tussen deze categorieën is nogal fluïde, vooral ook omdat ze hier alleen op basis van hoogtegegevens én hun onderlinge topologische relaties geïdentificeerd werden. Daarom behandelde Cheng Tao de overgangen ertussen als vaag en paste ze regels van fuzzy logic toe om de daaruit volgende onzekerheden te verwerken.

De gegevens van Rijkswaterstaat betroffen vijf opeenvolgende jaren, zodat veranderingen met de tijd gevolgd konden worden. In deze opnamen werden per jaar binnen de gebiedscategorieën ruimtelijke segmenten geïdentificeerd, zie *Fig. 24*. Die beschouwde ze als de vage extensie van vlakobjecten. Voor de weergave van dynamische objecten werd de oorspronkelijke vorm voor objectrepresentatie aangepast als in *Fig. 25*. In plaats van de thematische en de geometrische beschrijvingen direct aan het object te koppelen, werden die nu per opname gebundeld. De objectweergave werd daarmee in de vorm van een serie statusbeschrijvingen gedaan, dus als serie momentopnamen.

Cheng Tao richtte zich in haar proefschrift (Cheng, 1999) op de beschrijving van de dynamiek van ruimtelijke objecten. In dit voorbeeld van Ameland ging het vooral over de veranderingen in ligging en vorm van de ruimtelijke extensies van objecten. Er moesten daarvoor twee problemen worden opgelost.

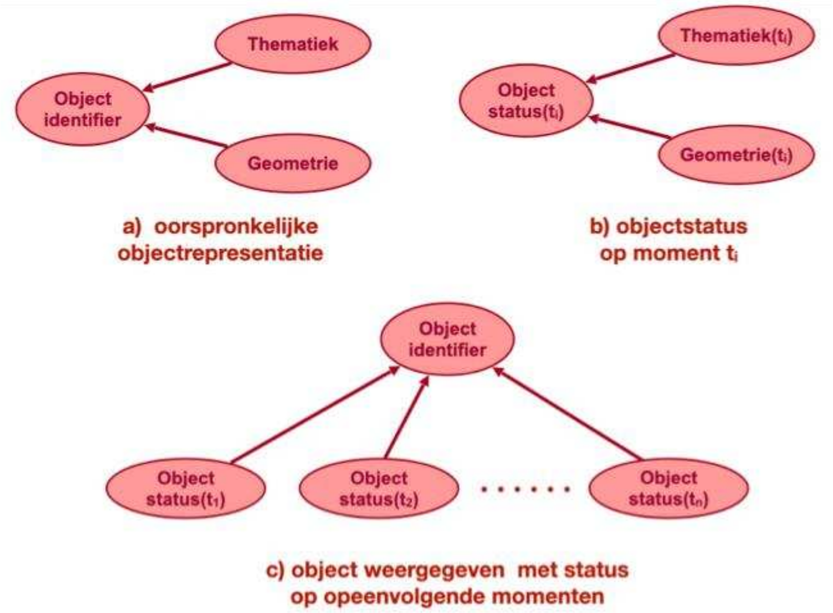


Fig. 25: Schematische weergave van dynamische objecten

- Allereerst moest voor ieder jaar worden bepaald welke segmenten het geometrische aspect van de status van een bepaald object in dat jaar vormde. Deze segmenten vormden over de jaren een keten die de dynamische ruimtelijke extensie van dat object beschreven.
- Daarna kon dan door telkens de status van de extensie van een object in twee opeenvolgende jaren te vergelijken, bepaald worden hoe die van jaar tot jaar veranderde van ligging en vorm.

In beide gevallen moest er rekening mee gehouden worden dat het om onzekere ruimtelijke extensies ging. Daarom werd bij de ontworpen algoritmes gebruik gemaakt van fuzzy logic. Het ging hier om een landschap met een ruimtelijke samenhang, zodat de topologische relaties tussen de objecten mede een rol speelden bij de identificatie ervan, en dat geldt ook voor de bepaling van hun dynamiek, (Cheng, 1999) en (Cheng en Molenaar, 1999a-b). Een apart geval

was segment nummer 7 in de data van 1990, zie *Fig. 24*. Dit werd geïnterpreteerd als een nieuw ontstaan object, maar het was niet duidelijk of daarvan echt sprake was. Het object verdween weer in 1991; en dit versterkte de indruk dat het hier om een object met een grote *existentiële onzekerheid* ging.

Na het voltooien van haar proefschrift heeft Dr. Cheng research- en onderwijsposities gehad aan WTUSM in China en aan Hong Kong University. Ze is nu Professor in GeoInformatics aan het University College in Londen. Daar is ze ook de oprichter en directeur van het *SpaceTimeLab for Big Data Analytics*, een multi-disciplinair researchcentrum. Dat centrum richt zich op de analyse van spatio-temporale geo-data ter ondersteuning van het beleid en tijdig bijsturen van processen door overheden, commerciële organisaties en andere partijen in de samenleving.

10.4 Terug naar het ITC

Halverwege de jaren '90 kwam er, net als begin jaren '80, weer een onrust bij me op. Ik was 34 jaar oud toen ik in Wageningen begon als hoogleraar. Dat was relatief jong en ik had dan ook nooit het gevoel dat ik daar zou blijven tot het einde van mijn loopbaan. Het was ook in die tijd dat Klaas Jan Beek zijn vierde termijn als rector van het ITC zou afsluiten, hij vroeg mij of ik interesse had in die functie en of hij mijn naam mocht noemen als mogelijke opvolger. Ik was daar toen nog niet aan toe omdat het onderzoeksprogramma in Wageningen zich ontwikkelde en vruchten begon af te werpen. Bovendien werkte ik nog aan de publicatie van een boek. Daarin behandelde ik vooral de grondslagen van ruimtelijke gegevensmodellering, zoals die in het kader van het onderzoek in Wageningen vorm hadden gekregen (Molenaar, 1998b).

Maar na bijna twaalf jaar begon het toch wel weer te kriebelen. Met ons team in Wageningen hadden we veel onderwijsvernieuwing tot stand gebracht. Daarbij hadden we de vakgroep Landmeetkunde een nieuw elan gegeven en er een nieuwe veelbelovende positie voor gecreëerd, niet alleen in de Wageningse context, maar ook breder, zowel nationaal als internationaal; zie (Molenaar en Loedeman, 2022). In mijn Wageningse tijd waren er bij de universiteit, zowel qua organisatie als wat betreft de onderwijsprogramma's, al diverse reorganisaties doorgevoerd en nu was er weer een grote reorganisatie op til. Bovendien was mijn persoonlijke ervaring dat het niet eenvoudig was om in Wageningen voldoende grond te geven aan het grondslagenonderzoek op het gebied van geo-informatie en aardobservatie, zoals ik dat nastreefde. De interesse aldaar leek toch meer uit te gaan naar de directe inzet van de technologie voor vraagstukken op het gebied van landbouw, landinrichting en natuurbeheer etc. Op zich was dat voor mij zeer begrijpelijk. Dus het werd weer tijd voor verandering. De vraag van Klaas Jan Beek had wel wat bij me losgemaakt, en een openstaande vacature voor een hoogleraar op het ITC bood de mogelijkheid om weer een volgende stap te zetten. Met nieuwe mensen ontstond op het ITC een nieuw team, en daarbij vormden geo-informatie en aardobservatie het hoofd-aandachtsveld. Maar vooral de missie van het instituut, en daarmee het type studenten, waren me blijven trekken. Het instituut was intussen in 1996 verhuisd naar een nieuwe lokatie, *Fig. 26*.

Fig. 26: ITC, Hengelosestraat, Enschede

ITC had dertien jaar eerder een geodeet zien vertrekken, nu kwam er een overtuigd geo-informaticus terug. In mijn inaugurele rede (die ik liever "transferrede" noemde) met de titel *To see or not to see"* was de aandacht duidelijk verschoven van het "*waar*", het geodetische en fotogrammetrische probleem van de plaatsbepaling, naar het "*wat*", of te wel de thematisch-inhoudelijke aspecten van remote sensing en de geo-informatieverwerking (Molenaar, 1998a).

De eerste jaren terug op het ITC stond vooral de herprogrammering van het onderwijs centraal. Meerdere leerstoelen werden in die tijd nieuw bezet, en dat gaf een goede gelegenheid om de lopende programma's kwa inhoud en structuur te moderniseren. Wat betreft het onderzoek vervolgde ik de in Wageningen uitgezette lijnen. Veel promotieprojecten waren daar vlak voor mijn vertrek opgestart en werden onder mijn begeleiding voorgezet. Die projecten betroffen ook een aantal promovendi van het ITC. De aandacht concentreerde zich op de rol die ruimtelijke objecthiërarchieën, met name gekoppelde aggregatieniveaus, hebben in de beeldinterpretatie. Verder vervolgden we het onderzoek naar de mogelijkheden die objecthiërarchieën, gekoppeld aan topologisch gestructureerde geometrische data, konden bieden bij de kaartgeneralisatie (Liu, 2002) (Smaalen, 2003).

DEEL III Pas achteraf besef je hoe de wereld veranderd is

Nadat ik vier jaar terug was op het ITC, kwam er echter een uitdaging waardoor ik mijn directe betrokkenheid bij onderwijs en onderzoek moest beëindigen; ik zou alleen nog verder gaan met het begeleiden van de onder mijn supervisie lopende promotieonderzoeken. Per januari 2001 werd ik tot Rector van het ITC benoemd, het moest er toch van komen. In deze nieuwe functie moest ik me gaan oriënteren op de strategische ontwikkeling van het instituut en het voorbereiden op een onzekere toekomst (Disco, 2010). Dat hield in dat ik op een andere manier en met meer afstand moest kijken naar de trendmatige ontwikkelingen van het aandachtsveld van het ITC, en ik moest bezien hoe het instituut daarin een op de toekomstgerichte positie zou kunnen innemen.

Met deze stap sloot ik een periode van ongeveer 17 jaar af waarin ik actief onderzoek deed op het gebied van de geo-informatie en aardobservatie. Na mijn aanstelling in Wageningen had het in wezen een paar jaar geduurd voordat ik mijn inzet in de lijn van de Delftse School helemaal had afgebouwd en in dit nieuwe domein goed was opgestart. Daardoor besloeg de werkelijke duur van mijn actieve onderzoek daarin zo'n 15 jaar. Maar de ontwikkelingen in die periode, en ook nog direct daarna, gingen echter zeer snel, met brede wetenschappelijke, professionele, institutionele en maatschappelijke veranderingen tot gevolg. Tijd dus voor een nabeschouwing.

11 Een terugblik op voorgaande ontwikkelingen

11.1 Invloed van de Delftse School op de gekozen aanpak van het onderzoek

Nu ik terugkijk op mijn Wageningse tijd, komt de vraag op wat de verbinding was tussen het onderzoeksveld waarin ik was opgevoed, en het nieuwe domein waarin ik zelf mijn weg moest zoeken. Van mijn leermeester Baarda had ik geleerd dat je een probleemveld alleen grondig kan aanpakken indien je eerst doorziet wat de grondslagen van het te onderzoeken systeem zijn. Baarda zocht naar een theoretisch kader waarbinnen hij methodes ontwikkelde voor de kwaliteitsanalyse en -borging van landmeetkundige en geodetische netwerken. Op basis van een analyse van meetprocessen koos hij voor een benadering vanuit de mathematische statistiek, gebaseerd op het kansdichtheidsmodel van Gauss-Laplace. Voor een structuuranalyse van de gemeten netwerken nam hij de driehoek als basiseenheid, die hij voor vlakke 2D-netwerken algebraïsch beschreef doormiddel van zijn complexe Pi-grootheden, en voor ruimtelijke netwerken met de op de quaternionenalgebra gebaseerde Q-grootheden (Molenaar, 2020). Met deze keuzen kon hij voor die kwaliteitsanalyse en borging een elegant, helder gestructureerd, en conceptueel samenhangend kader ontwikkelen.

Vanuit deze benadering probeerde ik nu in Wageningen ook greep te krijgen op het domein waarop ik mijn aandacht zou gaan richten. Het was snel duidelijk dat de opslag en verwerking van geo-informatie de brug sloeg tussen de inwinning en het gebruik van ruimtelijke gegevens (Molenaar, 1998a). Daarom begon ik met het zoeken naar de basisstructuren van geo-informatie. Van daaruit hoopte ik een basis te vinden voor de structurering van:

a. de processen voor gegevensinwinning, vooral gebaseerd op de interpretatie van RS-beelden,
b. processen voor gegevensverwerking die aangrepen op ruimtelijke gegevens, opgeslagen in databases.

De resultaten van het zoeken naar die basisstructuren zijn beschreven in de hoofdstukken **8** en **9**. De eenvoudigste basisstructuren werden gegeven in *Fig. 15.* Voor de objectgestructureerde representaties werden deze met de inzet van de geometrische elementen van **8.3** uitgewerkt tot de FDS – een Formele Data Schema; zie *Fig. 16*. Uitgaande van dit schema werden de verrijkte modellen van **9.5** uitgewerkt. Die verrijkte modellen bleken een goed uitgangspunt te bieden voor het uitwerken van de thema's a) en b). Dit was vruchtbare grond voor de meeste promotieonderzoeken die zijn uitgevoerd in het kader van de ontwikkelde onderzoekslijn.

Hierbij wordt duidelijk dat zowel het werk van de Delftse School als mijn eigen Wageningse onderzoek gericht was op het ontwikkelen van een methodiek. De Delftse School richtte zich, zoals boven gesteld, op de ontwikkeling van een conceptueel samenhangend kader voor het stellen van kwaliteitseisen voor landmeetkundige metingen en voor het toetsen van gemeten netwerken aan deze kwaliteitseisen. Mijn Wageningse onderzoek richtte zich op het ontwikkelen van een methodiek voor de structurering van geo-informatie, met het doel om een goed en geabstraheerd inzicht te krijgen in verwerkingsprocessen van geo-informatie. Hierbij lag de nadruk niet alleen op de vraag hoe thematiek gekoppeld wordt aan ruimtelijke structuren, maar ook hoe uit opgeslagen gegevens informatie kon worden afgeleid over ruimtelijke situaties met vaak complexere structuren. Bij de RS-beeldverwerking was de vraag hoe in het interpretatieproces beeldkenmerken worden vertaald naar terreinkenmerken.

Ter gelegenheid van Baarda's 80ste verjaardag werd aan zijn vier promovendi gevraagd om hem te huldigen met een felicitatiebrief in het tijdschrift Geodesia. In mijn bijdrage heb ik geprobeerd om de invloed van zijn werk op mijn benadering van de geo-informatie te schetsen; zie Annex 3.

11.2 De wereld met andere ogen bezien

Door de opkomst van de geo-informatietechnologie en de remote sensing veranderde onze blik op de wereld. De remote sensing gaf de mogelijkheid om letterlijk anders naar onze leefomgeving te kijken, want we waren niet langer beperkt tot het zichtbare deel van het electro-magnetische spectrum. Hierdoor werden fysische, chemische en structurele kenmerken zichtbaar die voorheen niet waargenomen konden worden. Zo kregen we informatie over bodembedekking en landgebruik, bodemsamenstelling en vochtgehalte, over gezondheid van gewassen en de ontwikkelingsstadia daarvan, en nog vele andere zaken. Bovendien konden we door de toenemende resolutie van de opnamen regio's ook op verschillende aggregatie- of schaalniveaus bekijken. Dat gaf een beter begrip van zowel de processen die op die verschillende niveaus plaatsvonden, als ook van de samenhang tussen de processen op die verschillende niveaus. Voorbeelden daarvan zagen we al in **9.5** en **10.2**.

We wilden de interpretatie van RS-beelden ondersteunen met beschikbare kennis over de opgenomen gebieden, en bovendien moesten de interpretatieresultaten toegevoegd worden aan de al beschikbare ruimtelijke informatie. Deze benadering leidde samen met de snelle ontwikkelingen op het gebied van de GeoICT tot de formulering van de bovenbeschreven informatiemodellen, die de basis vormden voor helder gestructureerde beschrijvingen van waargenomen ruimtelijke fenomenen en/of entiteiten.

Het startpunt van die modelontwikkeling lag in een duidelijke explicitering van de begrippen "object" en "veld". Landmeters en topografen waren altijd gewend om voor topografische karteringen vooral door de mens gevormde entiteiten als objecten te duiden, maar dat was nog

niet in de uitgewerkte vorm van de voorgaande hoofdstukken. Voor de meeste andersoortige karteringen onder het kaartparadigma was het objectbegrip nog niet duidelijk uitgewerkt, terwijl het veldbegrip nog niet of nauwelijks werd gehanteerd. Met het expliciet maken van de begrippen "object" en "veld" en de daarbij behorende beschrijvingsstructuren, ontstonden nieuwe uitgebreidere en meer variabele mogelijkheden voor de representatie van ruimtelijke situaties. Bovendien maakte de technologie het eenvoudiger om gegevens van verschillende disciplines te integreren, waardoor ook het zicht op de ruimtelijke organisatie en de complexiteit daarvan veranderde. Voor de "transferrede" bij mijn overgang van Wageningen naar het ITC (Molenaar, 1998a) koos ik de op Shakespeare geïnspireerde titel: "*To See or not To See"*. Daarmee verwees ik naar het feit dat we met RS-gereedschappen anders naar de wereld konden kijken dan we gewend waren; en bovendien werd daarmee ook uitgedrukt dat de disciplinaire achtergrond van de professionele waarnemers invloed had op wat ze zagen. Daarenboven zouden nu ook de in de geo-informatietheorie ontwikkelde ruimtelijke concepten onze blik mede gaan bepalen.

De aanscherping van het objectbegrip

Het objectbegrip is van oudsher ingebed in onze natuurlijke taal, en we zijn daardoor gewend om dat begrip te hanteren, maar meestal zonder nadere toelichting op wat we eronder verstaan. In de filosofie is daarover veel geschreven, waarbij vele auteurs hebben geprobeerd tot een heldere semantische duiding te komen, zie bijvoorbeeld (Quine, 1960) en (Russell, 1973). Maar het probleem is en blijft dat dergelijke duidingen verwoord worden in taal, terwijl de semantische duiding van een begrip juist het verband moet leggen van een term of uitdrukking in een taal naar datgene, wat daarmee bedoeld wordt in de door die taal beschreven wereld. In ons geval zou dat het verband zijn tussen een "taal-object" en een entiteit in de fysieke wereld. Die geduide entiteit valt dus buiten de taal. Voor een talige uitleg van het begrip "object" blijft er zo dus een moeilijkheid bestaan.

Voor de kartering van topografie en vastgoed heeft men van eind '70er en begin '80er jaren al geprobeerd om specifiek aan te geven welke objecten op een kaart kunnen voorkomen. Dat gebeurde door de thematische duiding van klassen van objecten zo scherp mogelijk te omschrijven, zoals hier in Nederland in het Terreinmodel Vastgoed (TMG)[30]. Het probleem daarvan werd in Hoofdstuk **9** uitgelegd, objectspecificaties zijn over het algemeen afhankelijk van de context van de gebruiker. Daarom zal een standaardisatie als in het TMG toch niet voor alle mogelijke gebruiksomgevingen hanteerbaar zijn, want vaak heeft men behoefte aan eigen specificaties.

In Wageningen, en ook op het ITC, had ik te maken met een verscheidenheid van gebruikers, waarvoor het niet zinvol was om zo'n gemeenschappelijke standaard te ontwikkelen. Daarom koos ik voor de generieke benadering, die ook werd gehanteerd in de object-georiënteerde methodes in de IT-sector. Die boden een modelleringsstructuur, waarmee een breed scala van gebruikers hun eigen objecten konden specificeren. Door deze benadering aan te passen voor de verwerking van geo-informatie, konden nu ook in deze sector brede groepen van gebruikers die methodiek toepassen. Dus nu werden standaarden niet in thematische zin gedefinieerd, maar werd via een structuurmodel het begrip "object" gespecificeerd. Deze structurele specificatie bood tegelijkertijd ook de mogelijkheid voor een uitbreiding van het objectbegrip.

---

[30] Zie bijvoorbeeld NEN 3610:1995/A2:2004.nl en de voorgangers daarvan.

In **8.3** werd al een schets gegeven hoe een uitbreiding van 2D- naar 3D-objecten kon worden gerealiseerd (Molenaar 1990, 1992). Die lijn werd toen niet verder uitgewerkt omdat de toenmalige software voor geo-informatieverwerking, evenals de potentiële gebruikers daarvan, er nog lang niet aan toe waren. Pas zo'n twintig jaar later zou de ontwikkeling van 3D-GIS een grote vlucht nemen.

Bij de toepassingsgebieden in Wageningen lag de nadruk voorlopig nog op de verwerking van 2D-informatie. Door samenwerking met de verschillende ruimtelijke disciplines werd al snel duidelijk dat men de ruimte vaak op meerdere schaalniveaus beschouwde. Dat gaf aanleiding tot de formulering van de objecthiërarchieën in **9.5**. Die objecthiërarchieën gaven een goed inzicht in de wijze waarop informatie tussen die verschillende niveaus kan worden overgedragen. Gezien mijn leeropdracht richtte ik bovendien een belangrijk deel van het onderzoek op de potentiële rol van geo-informatiemodellen in het proces van RS-beeldinterpretatie. De leidende vragen daarbij waren hoe met de ontwikkelde informatiemodellen dit proces geëxpliciteerd kon worden, en ook hoe de inbreng van beschikbare informatie dat proces zou kunnen versterken. Zoals we zagen in **10.2**, speelden hierbij in eerste instantie objecthiërarchieën een rol. Maar het onderzoek leidde ook tot een verdere uitbreiding van het objectbegrip voor vage en dynamische objecten, zoals bij het in **10.3** beschreven onderzoek van Cheng Tao. Deze stapsgewijze uitbreiding van het objectbegrip gaf weer aanleiding tot een verdere aanpassing van onze blik op de ruimte.

Objecthiërarchieën vs kaartschaal

Door het gebruik van kaarten waren we gewend geraakt aan het begrip "kaartschaal" als de verhouding van een afstand op de kaart tot de overeenkomstige afstand in het terrein. Door kaartgeneralisatie werd uit een grootschalige gedetailleerde kaart een kleinschalige minder gedetailleerde kaart afgeleid, daarbij werd verlies van detail geaccepteerd teneinde een ruimer overzicht over het gekarteerde gebied te krijgen. Kaartgeneralisatie was daarmee voornamelijk een grafische ingreep in de aanvankelijke kaartgegevens.

In **10.1** werd beschreven hoe objecthiërarchieën een rol konden spelen bij de automatisering van het proces van kaartgeneralisatie. Maar het moet duidelijk zijn dat het hier wel om twee heel verschillende zaken gaat. Bij aggregatie worden samengestelde objecten gevormd uit onderliggende objecten. In het landbouwkundige voorbeeld van **9.5** zagen we hoe bij iedere aggregatiestap nieuwe samengestelde objecten ontstonden, die speelden een rol op een hoger niveau van bedrijfsbeheer dan de samenstellende objecten. In dat voorbeeld dragen die hogere objecten daarom andere informatie dan de lagere, want op ieder niveau moet de objectinformatie afgestemd zijn op het daar geldende beheersregiem. Vaak is het wel zo dat de statusinformatie op het hogere niveau voor een belangrijk deel kan worden afgeleid uit die van de onderliggende samenstellende objecten. Dus daarom moet die informatie van beneden naar boven worden overgedragen. Omgekeerd zal het vaak zo zijn dat de gebruiks- of beheersmogelijkheden van de lagere objecten moeten passen binnen gebruiks- of beheersspecificaties van de hogere objecten waarvan ze deel uitmaken. Dus díe informatie moet dan van boven naar beneden worden doorgegeven. Vergelijkbare situaties vinden we in **10.1**. De voorbeelden voor de rol van informatieoverdracht tussen de aggregatieniveaus worden daarom gegeven in de context van het gebruik van ruimtelijke objecten, maar voorbeelden kunnen evenzo geformuleerd worden in de context van ruimtelijke planning of geografische processen.

Objecten worden dus altijd binnen een bepaalde context gespecificeerd. Deze specificaties zullen voor de objecten op de onderscheiden aggregatieniveaus verschillen; en dat betekent dat bij iedere aggregatiestap objecten vanuit een $context_1$ worden omgezet naar objecten in een andere $context_2$. Vandaar dat de betrokken promovendi en ik voor dergelijke generalisatieprocessen liever de term "*contexttransformaties*" gebruikten.

Aan het begin van deze paragraaf is uitgelegd dat het begrip kaartschaal verbonden is aan de weergave van een terrein op een kaart, in traditionele zin. Bij iedere generalisatiestap wordt het grafische beeld aangepast voor een weergave op kleinere schaal. Daarmee wordt ook de geometrische nauwkeurigheid van de afbeelding van het terrein telkens verminderd. Bij objectaggregatie is dat echter niet zo. Daarbij kan het zijn dat de geometrische gegevens van objecten die opgaan in een samengesteld object worden uitgedund, maar voor het overige kunnen de oorspronkelijke geometrische gegevens worden gehandhaafd. Dus hierbij is de geometrische nauwkeurigheid onafhankelijk van het aggregatieniveau. Pas bij de grafische weergave kan gekozen worden voor een aangepaste geometrie; en dat kan zelfs op het moment dat de gebruiker in het beeld in- of uitzoomt, maar daarbij verandert er niets in de database waarin de objectgegevens zijn opgeslagen.

In het spraakgebruik rond de geo-informatie wordt de term "schaal" of "schaalniveau" toch nog wel gebruikt. Die kan dus slaan op de grafische weergave, maar men kan er ook mee aanduiden of de betreffende informatie betrekking heeft op lokaal, regionaal, nationaal of continentaal niveau. Zo kan men er in het voorbeeld van **9.5a** mee aanduiden of gegevens betrekking hebben op veld-, kavel-, of bedrijfsniveau; of zelfs op het niveau van landbouwregio's. Dan verwijst men met de term "schaal" eigenlijk naar het beschreven "aggregatieniveau". Zo blijven oude termen toch in gebruik in een nieuwe context, zij het met een aangepaste betekenis.

Objecten zonder grenzen

Tijdens mijn vorming tot geodeet had ik leren omgaan met het stochastische karakter van de door geodeten gehanteerde meetprocessen. De door de Delftse School ontwikkelde methodiek werd daarom op de mathematische statistiek gebaseerd. In de omgang met collega's uit andere disciplines was mij heel duidelijk geworden, dat de kwaliteit van hun karteerresultaten zich over het algemeen niet lieten beschrijven door de geodetische methodiek. Een grondige beschouwing van de RS-beeldanalyse gaf inzicht in hetgeen hier aan de hand was, zie **10.3**. Dit werd vooral inzichtelijk door het digitale karakter van dit proces. Daarin worden de te nemen beslissingen namelijk stap voor stap expliciet gemaakt en daarmee ook de onzekerheden die daarbij optreden. En hoewel het niet altijd goed mogelijk was die te kwantificeren, werd het wel duidelijk hoe ze doorwerkten op het bereikte eindresultaat. Daardoor werden de plaats en de rol van die onzekerheden in de ruimtelijke gegevensmodellen helder. Van groot belang daarbij was vooral de relatie tussen thematische en ruimtelijke onzekerheden. Hierdoor werd duidelijk dat thematische onscherpte meestal een dominante invloed had op geometrische onnauwkeurigheden. Daarbij speelde de relatie Part[f, O] een centrale rol, omdat bleek dat die als onzeker, of *fuzzy*, geïdentificeerd moest worden, zie **10.3**.

Daarmee ontstaat een interessante situatie. In **8.4** namen we bij *Fig. 14b* eigenlijk als vanzelfsprekend aan dat de geometrie van objecten crisp zou zijn, dus met duidelijke geïdentificeerde grenzen. Nu zien we echter dat dit voor objecten met een onzekere extensie niet het geval is, en dat in dergelijke gevallen de geometrie wordt beschreven door *faces*

waarvoor de functie Part[f, O] waardes kan aannemen van 0 tot en met 1. Dus waar in *Fig. 14b* een semantisch onderscheid werd gemaakt tussen enerzijds de veldbenadering en anderzijds de objectbenadering, zien we hier een hybride situatie waarin onscherpe objecten eigenlijk een *fuzzy* veld als geometrische beschrijving hebben. De consequenties daarvan heb ik indertijd niet meer onderzocht.

Een andere waarneming werd in **10.3** duidelijk bij het onderzoek van Cheng Tao. De objecten die zij in haar onderzoek monitorde, waren onscherp. Dat wil zeggen dat op ieder moment dat de status van de objecten werd vastgelegd, was het niet mogelijk om daarvoor ruimtelijk exacte grenzen te identificeren. Maar dat verhinderde haar niet om nabuurrelaties tussen de objecten te identificeren. Ook dit thema is toen niet helemaal uitgewerkt, maar het bleek wel dat voor de identificatie van topologische relaties tussen objecten, de voorwaarde gold dat er geen twijfel mocht zijn over het al of niet feitelijk bestaan van die objecten. Dus er moest geen twijfel zijn ten aanzien van hun existentiële zekerheid.

Met de wiskundige notatie van Annex 2 konden we in de dataschema's als in *Fig. 16* aangeven, langs welke lijnen thematische onzekerheden doorwerken op de geometrie van objecten. Daaruit kon dan weer afgeleid worden hoe die doorwerkte op topologische relaties tussen die objecten. Maar de kwantificering van die onzekerheden bleef over het algemeen problematisch. Zelfs de keuze van onzekerheidsmodellen was toen nog lang niet altijd duidelijk. Vaak werd dan maar toevlucht genomen tot het gebruik van fuzzy logic, maar dat was zeker niet altijd adequaat en bevredigend. De kwantificering van onzekerheden bleef een grote vraag, wellicht een enigma.

Dynamische ruimtelijke representaties - objecten als proces responseenheden

De formulering van objectmodellen leunde zwaar op de benaderingen die voor ICT-toepassingen ontwikkeld werden. Het ging daar om objecten die werden gedefinieerd voor de ICT-omgeving, zoals software-objecten en database-objecten. Die benaderingen gingen uit van objecten met een statusbeschrijving en hiërarchische structuren. Daarnaast werden in de ICT aan de objecten ook nog methodes toegevoegd; deze zijn in het voorgaande echter niet meegenomen. Die methodes gaven aan welke bewerkingen erop konden worden toegepast, waarmee de objecten dus waren gespecificeerd in de context van de ontwikkeling van computerprogramma's of een database-omgeving.

Het objectbegrip van de voorgaande hoofdstukken was gericht op de representatie van entiteiten op of nabij het aardoppervlak, dus terreinobjecten. De vraag is dan waarom we behoefte hebben aan dergelijke representaties. De redenen waarom we de status van die objecten willen weten, kunnen divers zijn. Het kan gaan om administratieve handelingen, maar het kan ook zijn dat ze onderwerp zijn van menselijk handelen, zoals beheer, onderhoud, verandering etc. Als het om meer natuurlijke objecten gaat, dan willen we de status weten om hun ontstaansgeschiedenis te leren kennen, of om te beoordelen of bepaalde vormen van exploitatie mogelijk zijn, of om te zien hoe ze door de tijd heen veranderen en of die verandering mogelijke consequenties hebben voor de mens. Zo zijn er vele verschillende reden om de status van objecten te willen weten. Het feit dat we het over hun status hebben, betekent dan veelal dat we erop anticiperen dat die status door de tijd heen kan veranderen, dus dat de objecten onderhavig zijn aan bepaalde natuurlijke of door de mens geïnduceerde processen. We zien ze dan als "*proces-responseenheden*".

Het was altijd al een feit dat vanwege veranderingen in het terrein reeds gekarteerde terreinsituaties regelmatig moesten worden herzien, dus om kaarten of databases daarvan te actualiseren. Maar voor een aantal fenomenen op het aardoppervlak was al bekend dat veranderingen relatief snel konden gaan. Vooral de huidige grote diversiteit aan RS-systemen maakt het mogelijk om dergelijke veranderingen regelmatig te volgen en in kaart te brengen, zoals al in **10.3** is gebleken bij het onderzoek van Cheng Tao. Het vastleggen van veranderingen in het terrein sloeg tijdens dat onderzoek om in het volgen van processen. De situatie op het aardoppervlak werd niet langer gezien als statisch, maar veeleer als dynamisch. Daar waar terreinrepresentaties het karakter hebben van de in **9.3** beschreven thematisch-geometrische (TG) partities, betekent die dynamiek dat naburige objecten elkaar zullen beïnvloeden; hetgeen, zeker bij geometrische veranderingen het geval is. Daarnaast kunnen die objecten elkaar natuurlijk ook op niet-geometrische wijze beïnvloeden. TG-partities beschrijven dan dynamische ruimtelijke complexen.

Uiteraard geldt het bovenstaande niet alleen voor object-representaties, maar ook voor veld-representaties. Daar zullen de waarden van positie-afhankelijke attributen veranderen onder invloed van ruimtelijke processen. Vaak wordt deze dynamiek veroorzaakt door meerdere op elkaar inwerkende processen, waardoor we de nadruk bij ruimtelijke representaties steeds meer zagen verschuiven van het weergeven van de toestand aan het aardoppervlak (per kartering) naar het identificeren, volgen en bijsturen van die ruimtelijke processen. En daarmee maakten we weer een verdere stap, weg van het kaartparadigma.

11.3 Een volwassen wetenschap?

In mijn eerste periode op het ITC had ik de doorbraak meegemaakt van het brede civiele gebruik van de remote sensing en van de eerste schreden die toen werden gezet op het gebied van de moderne geo-informatieverwerking. Na mijn aanstelling in Wageningen zetten deze ontwikkelingen zich steeds sneller door. Systemen kwamen op de markt voor zowel RS-beeldverwerking als geo-informatieverwerking; en al snel werd het gebruik daarvan gemeengoed onder professionals op het gebied van de ruimtelijke informatievoorziening.

Zo ontstond er vanuit verschillende disciplinaire velden een snelgroeiende mondiale gemeenschap van collega's uit zowel de academische als de professionele en commerciële sfeer, die zich bezighield met dit nieuwe aandachtsveld. Door hun activiteiten ontstond een zich snel ontwikkelende zelfstandige discipline, met eigen symposia, congressen en tijdschriften. Die ontwikkelingen gaven voeding aan theorievorming, die werd opgepakt door een steeds bredere groep academici en systeemontwikkelaars. Ik heb in de voorgaande hoofdstukken vanuit mijn eigen perspectief het ontstaan van concepten beschreven, maar de ideevorming daartoe was natuurlijk ingebed in deze ontwikkelingen.

De vorming van die concepten volgde min of meer de ontwikkeling die de wetenschapshistoricus Dijksterhuis al in 1950 beschreef (Dijksterhuis, 1996). Gaandeweg kregen ze gestalte; eerst verwoord in begrippen die nog dicht bij het natuurlijk taalgebruik lagen, maar langzamerhand werden begrippen scherper geformuleerd. Daarbij ontstond een samenhangend conceptueel, deels wiskundig, kader waarin die begrippen hun uiteindelijke betekenis kregen. De geo-informatieverwerking groeide mede daardoor uit van een oorspronkelijk interdisciplinaire activiteit tot wat we met de criteria van Dijksterhuis zouden kunnen bestempelen als een volwassen geo-informatiewetenschap, GI-wetenschap. Daarbij is de geo-informatietheorie, GI-theorie, dan een onderdeel van die wetenschap en omvat de

definitie van de verschillende gegevenscategorieën en hun onderlinge relaties voor de beschrijving van de geografische ruimte. In deze monografie is de nadruk gelegd op de formulering van object-georiënteerde informatiemodellen. Het alternatief van veld-georiënteerde modellen is hier alleen genoemd, maar niet verder uitgewerkt.

Het modelbegrip in de Delftse School

Geodeten waren al bekend met het feit dat hun meetresultaten niet zonder meer pasten in de wiskundige modellen die ze voor hun berekeningen gebruikten; zie **2.1** en (Molenaar 2020). Wegens het stochastisch karakter van de waargenomen grootheden was de toepassing van methodes uit de mathematische statistiek vereist om tot eenduidige resultaten te komen. Deze situatie had twee basisredenen. Eén daarvan was gelegen in het stochastische karakter van het meetproces. Zo was de atmosfeer wegens de variabele temperatuur en luchtvochtigheid van grote invloed; maar ook het gebruikte instrumentarium had eigen stochastisch kenmerken. De andere basisreden lag in het feit dat de structuur van een fysieke ruimte geometrisch werd beschreven door abstracte meetkundige configuraties bestaande uit punten, lijnen en vlakelementen. Het probleem daarbij is dat fysische terreinkenmerken alleen maar bij benadering geïdealiseerd, dus gereduceerd, kunnen worden tot deze meetkundige elementen. In **10.3** werd in dit verband het begrip "idealisatienauwkeurigheid" genoemd, dat is de onzekerheid die optreedt als men met (wiskundige) modellen een geabstraheerde presentatie van de werkelijkheid geeft.

Het gedachtengoed van de Delftse School, en vooral van mijn leermeester Baarda, was geënt op ideeën die in de eerste helft van de 20ste eeuw vorm kregen in een groep wiskundigen, fysici en filosofen rond het Mathematisch Centrum in Amsterdam, (Alberts, 2000) (Molenaar, 2020). Vooral de namen van Mannoury en Van Dantzig werden in dat verband genoemd. Centraal in hun ideeën stond, zoals beschreven in **3.3**, de gedachtengang dat een geabstraheerd model een bruikbare beschrijving van de werkelijkheid geeft, waarin waarnemingsgrootheden worden gespecificeerd en waarin waarnemingsresultaten worden verwerkt. De uitkomst van die verwerking leidt dan tot waarden van grootheden die ook binnen zo'n model gedefinieerd zijn. Deze resultaten moeten weer teruggekoppeld worden naar de door zo'n model beschreven werkelijkheid. Men noemde dit de "*in- en uitschakeling van een model*".

Het modelbegrip in de GI-theorie

Hierboven heb ik al beschreven hoe de invloed van mijn opvoeding tot geodeet doorwerkte op de manier waarop ik mijn weg in de geo-informatie en aardobservatie zocht. De geodetische oriëntatie op de vastlegging van de geometrie van ruimtelijke situaties, verbreedde zich tot meer omvattende beschrijvingen van de toestand op het aardoppervlak en van wat daar gebeurt. De karteerdisciplines waar ik op het ITC mee te maken had, en waarmee mijn groep in Wageningen samenwerkte, identificeerden in het terrein entiteiten en fenomenen die relevant waren in het kader van de modellen die ze in hun disciplines hanteerden. Ze deelden die in in categorieën, en gaven daarbij aan wat de relevante kenmerken waren, en welke meetbare kenmerken ze wilden vastleggen via waarnemingen, samen met de relatieve ruimtelijke ligging ervan. De gemeenschappelijke aspecten van die karteringen, en de resulterende terreinbeschrijvingen, werden vervolgens voor de verwerking met GeoICT vertaald naar de structurele informatiemodellen die ik in de voorgaande hoofdstukken heb besproken.

Dat resulteerde in dataschema's met hun object-identificaties, -klassen, -geometrie etc. In eerste instantie leek de specificatie van deze datacategorieën eenvoudig en voor de hand

liggend te zijn. Maar toen we deze datamodellen wilden koppelen aan terreinsituaties liepen we ook hier weer tegen onzekerheden aan. Thematisch objectklassen lieten zich lang niet altijd scherp definiëren. Dit had bij voorbeeld in de RS-beeldclassificatie tot gevolg dat de beslisfunctie D[p, C] voor de classificatie van beeldpixels een onzekere uitkomst gaf. En deze onzekerheid leidde weer tot onzekerheid over de extensie van geïdentificeerde objecten, en zelfs tot onzekerheid over de existentie van de objecten als zodanig. Het bovenstaande wordt nog verder gecompliceerd met de constatering in **11.2** dat we objecten kunnen zien als proces-responseenheden. Dat houdt in dat objectdefinities dus begrepen moeten worden zowel in de context van waargenomen ruimtelijke processen als op het aggregatieniveau waarop die processen spelen. Daardoor worden die objectdefinities nog verder conceptueel ingekaderd. Deze bevinding doet denken aan een observatie van de historicus Jan Romein, die in het kader van historisch onderzoek vaststelt: *"enkelvoudige feiten komen in theorie, maar niet in werkelijkheid voor" (Romein, 1976)*[31]. Als we hier "feiten" vervangen door "entiteiten" of "objecten", zou deze constatering ook in ons geval kunnen gelden.

Een extra onduidelijkheid ontstaat daarbij doordat we voor objecten met een onzekere extensie tot een hybride vorm van object- en veldrepresentaties komen, zoals geschetst in **11.2**. In die situatie wordt het onduidelijk of de betrokken processen nu aangrijpen op de objecten als zodanig, of op hun veldkarakteristieken.

Als we aannemen dat processen aangrijpen op een veld gerepresenteerd in de vorm van *Fig. 14a,* is het de vraag of de spreiding van de waarnemingspunten en/of de resolutie van de rastercellen adequaat gekozen is en dat in samenhang met de specificatie van de veldattributen. Al met al zien we dat de door Van Dantzig c.s. geformuleerde filosofie van de in- en uitschakeling van modellen, hier nog veel indringender aan de orde komt dan bij de genoemde geodetische meetkundige constructies.

Het aforisme van Dijkstra en een "mer à boire"

Als motto voor deze monografie heb ik een aforisme van de informaticus Dijkstra gebruikt: "*Informatica gaat net zomin over computers als astronomie over telescopen".* Met deze verwijzing naar de astronomie wilde hij duidelijk maken hoe hij over de rol van de informatica dacht. Hij wilde daarmee beslist niet zeggen dat telescopen niet van belang zijn voor de astronomie, want ze zijn zelfs essentieel voor het doen van astronomische waarnemingen, wat zeker in zijn tijd de belangrijkste manier was om gegevens over het universum te vergaren. Maar de astronomie gaat over het universum, over hoe dat is opgebouwd en welke processen daar spelen.

Voor de geo-informatie*verwerking* staat het natuurlijk buiten kijf dat de snelle ontwikkeling van de Geo-IC-technologie en die van de remote sensing dé grote impulsen gaven tot de ontwikkeling van dit werkveld. Maar de geo-informatie*theorie* betreft de expressievormen voor dat wat we willen zeggen over de geografische ruimte. Het gaat daarbij om de ruimtelijke samenhang van de beschreven entiteiten en de (functionele) relaties daartussen; en dat dan op verschillende aggregatieniveaus en bovendien meestal in de context van processen die daar spelen. Dat betekent dat de samenwerking met vele ruimtelijke disciplines essentieel is om te begrijpen waarop deze zijn gericht, hoe ze daartoe hun gegevens inwinnen en wat ze daarmee

---

[31] In het essay: *De graal der geschiedenis - De stand van het vraagstuk der historische wetten.* Op pagina 337 van de bundel, regel 14 van onderen.

gaan doen. Hun werkprocessen moesten begrepen worden om te bezien hoe die disciplines het beste gebruik konden maken van de beschikbare geo-informatietechnologie. De informatie-theoretische modellen moesten daarop afgestemd zijn, daarbij was het vaak wel zinvol om hun ruimtelijke concepten en werkprocessen aan te passen aan nieuwe GI-theoretische inzichten.

Na mijn promotie vond ik het tijd worden om op zoek te gaan naar een wat ruimer en avontuurlijker werkterrein. Het is duidelijke dat ik met mijn overstap naar Wageningen en met daarbij de overstap naar de geo-informatie en de aardobservatie, dát gevonden had. Daar openbaarde zich een breed probleemveld met vragen op technologische gebied, op informatietheoretisch gebied en op het gebied van de RS-beeldanalyse. Het bleek een werkveld waarvoor methodische benaderingen ontwikkeld moesten worden, waarbij vaak moest worden teruggegrepen op meerdere basisdisciplines. Waar ik mijn oude aandachtsveld, zoals verwoord in **5.2**, begon te ervaren als een degenererend onderzoeksveld, was ik nu terechtgekomen in een nieuw veld met wat Lakatos een onderzoeksveld zou noemen met "*heuristic powe*r", een krachtige heuristiek (Lakatos, 1978). Dit nieuwe werkveld bleek een "mer à boire" voor de onderzoeker.

De positie van de GI-theorie tussen aangrenzende disciplines
Blijft nog de vraag hoe de GI-theorie zich nu verhoudt tot de diverse disciplines waarmee ze raakvlakken heeft. Die verhoudingen zijn schetsmatig weergegeven in Fig. 27.

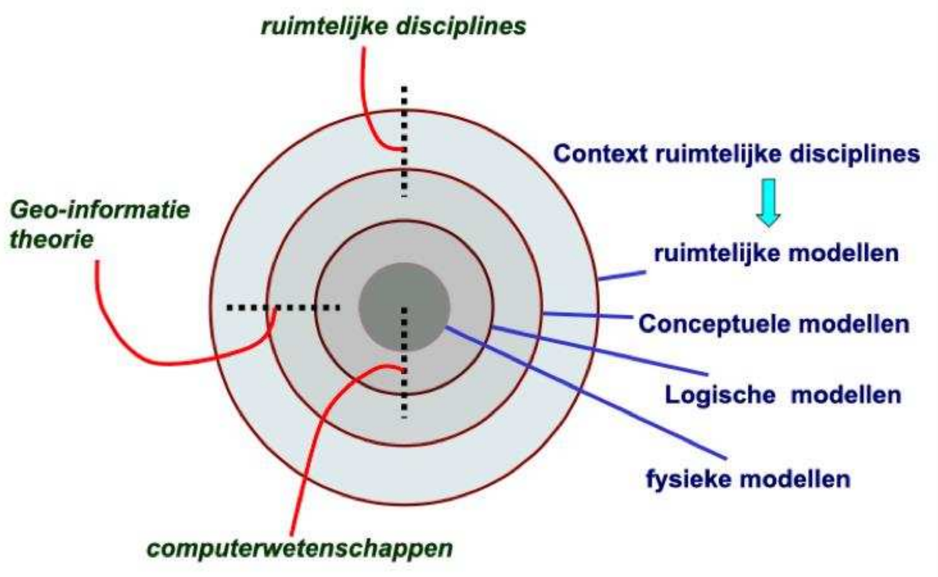


Fig. 27: verhouding van de geo-informatietheorie tot andere disciplines (Molenaar, 1998b)

Door de ruimtelijke wetenschappen worden modellen geformuleerd in de context waarvan gegevens worden ingewonnen, verwerkt en gebruikt. In de informatica, hier als computerwetenschappen aangeduid, worden database-modellen met daarop toepasbare operatoren ontwikkeld, die voor een breed spectrum aan toepassingen inzetbaar zijn. Daarbij werken ze vanuit de fysieke datamodellen, zoals bits, bytes en records etc., die door computers worden gehanteerd en vertalen die naar logische of database-modellen die voor gebruikers begrijpelijk zijn. Die databases hebben echter een structuur die niet zonder meer aansluit op de wijze waarop de ruimtelijke disciplines hun modellen formuleren. Daarom moet er nog een vertaalslag gemaakt worden. Op dat breukvlak is dan de GI-theorie gepositioneerd, daarin worden de generieke aspecten geïdentificeerd die veel ruimtelijke modellen gemeen hebben.

De vertaalslag van zo'n ruimtelijk model naar een database-model gebeurt dan in twee stappen. Eerst wordt het ruimtelijke model vertaald naar een conceptueel datamodel, geformuleerd binnen het kader van de GI-theorie. Dat wordt dan in een tweede stap vertaald naar een gangbaar logisch- of database-model uit de informatica.

12 Een veranderend werkveld door en voor de GeoICT

"Kijk, nu is de bodemkaart van Nederland compleet en obsoleet!"

Na mijn aanstelling in Wageningen legde ik vele bezoeken af aan collega's van vakgroepen waarvan ik verwachtte dat er mogelijkheden voor samenwerking lagen. Evenzo bezocht ik een aantal directeuren van Wageningse instellingen voor landbouwkundig onderzoek. Tijdens een van die bezoeken werd er een kaartblad binnengebracht. Mijn gastheer bekeek de kaart, het bleek het pas voltooide laatste kaartblad te zijn van de Nederlandse bodemkaart 1:50.000. Zijn commentaar was: "Kijk, nu is de bodemkaart van Nederland compleet èn obsoleet!"

12.1 Uitvoeringsorganisaties

Vlak na de oorlog, in 1945, was de Stichting voor Bodemkartering opgericht. Deze kreeg de korte naam Stiboka. De opdracht was het uitvoeren van bodemkarteringen om te bepalen voor welke vormen van gebruik de bodems in de verschillende regio's geschikt waren. Hierbij lag de nadruk op gebruiksmogelijkheden voor land-, tuin- en bosbouw. Deze taakstelling lag zo vlak na de oorlog zeer voor de hand. Na enige tijd werd de opdracht uitgebreid tot het samenstellen van een bodemkaart die geheel Nederland bedekte. Dit was een project over meerdere decennia, dat werd afgesloten met de kaart waar ik het hierboven over had. Omdat een landdekkende kaart uniform van inhoud diende te zijn, hield dat in dat de karteringsmethodiek die in het begin was ontwikkeld zo getrouw mogelijk werd volgehouden. Dat was de oorzaak van de gemaakte opmerking, omdat de maatschappelijke vraag naar bodeminformatie over de decennia aanzienlijk was gewijzigd. Dat kwam doordat de bodemkunde zich verder had ontwikkeld in nieuwe deeldisciplines, en niet te vergeten ook omdat de ontwikkeling van de GeoICT andere mogelijkheden bood voor de opname, verwerking en presentatie van bodemgegevens. Deze ontwikkelingen leidden ook tot institutionele veranderingen waarbij Stiboka op het moment dat de bodemkaart van Nederland af was, met een aantal andere instituten voor landbouwkundig onderzoek was opgegaan in het toen nieuwe Staring Centrum.

Ik schets deze ontwikkelingen rond de bodemkaart omdat die exemplarisch is voor het hele veld van de ruimtelijke informatievoorziening. Voor de grootschalige topografische basisinformatie wordt een schets van deze veranderingen gegeven in (Bogaerts, 2017) en in (Anneveld en Molenaar, 2022). Deze informatie werd op zich niet obsoleet, maar de behoefte veranderde met de tijd ten aanzien van de inhoud en de vorm waarin ze beschikbaar werd gesteld. Bovendien groeide de behoefte om deze informatie met andere soorten ruimtelijke informatie te integreren.

In de traditionele geodetische omgeving speelde op nationaal niveau, voor wat betreft het vaste land van Nederland, een drietal uitvoeringsorganisaties van de overheid een hoofdrol:

- Het kadaster sinds 1832.
- De Topografische Dienst ook sinds 1832, als opvolger van de toenmalige Dienst Militaire Verkenningen van 1815.

– De Meetkundige Dienst-RWS, in 1931 ontstaan uit het Geodetisch Bureau van Willem Schermerhorn.

In de periode die deze monografie beschrijft, zijn er voor deze diensten grote veranderingen doorgevoerd. Het Kadaster heeft in hoofdlijnen haar traditionele taken behouden, maar haar institutionele positie is veranderd van een overheidsdienst in een ZBO[32]. Daarbij is haar interne organisatie een aantal keren gewijzigd; dit mede als gevolg van de invoering van de (Geo)-ICT die tot geheel nieuwe werkprocessen leidde. Het Kadaster speelde een belangrijke rol bij de ontwikkeling van de vroegere GBKN, de Grootschalige BasisKaart Nederland, die later werd doorontwikkeld tot de Basisregistratie Grootschalige Topografie (BGT).

Met de ontwikkeling van de nieuwe GeoICT en van moderne technieken voor aardobservatie, verloor de traditionele productie van de topografische kaart haar belang voor defensie. Bovendien had defensie behoefte aan actuele informatie over de regio's waar internationale vredesmissies werden uitgevoerd. Dat was de reden waarom men de Topografische Dienst niet langer wilde financieren. Deze dienst is in 2004 geïntegreerd in het Kadaster, waardoor er een betere afstemming mogelijk werd tussen de ontwikkeling van de BGT en de moderne voortzetting van de topografische kaart op meerdere schalen.

De Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat (MD-RWS) had oorspronkelijk de taak om landmeetkundige ondersteuning te geven bij de aanleg van autosnelwegen, bij de aanleg en het onderhoud van kanalen en rivieren, en bij kustwerkzaamheden. MD-RWS, of kortweg MD, produceerde de Nederlandse rivierenkaart en was via waterpassing verantwoordelijk voor het Nederlandse net van hoogtepunten t.o.v. het NAP[33]. In de jaren '70 t/m '90 was de MD de penvoerende organisatie voor de Beleidscommissie Remote Sensing en daarmee verantwoordelijk voor de uitvoering van het Nationaal Remote Sensing Programma (NRSP). Toen Rijkswaterstaat haar rol veranderde en uitvoerende taken ging uitbesteden, moest de MD opzoek naar een nieuwe opdracht. En bij het zoeken van die nieuwe taken speelden alweer de snelle ontwikkelingen op het gebied van (Geo)-ICT een belangrijke rol. In relatief korte tijd veranderde de rol en de naam van de vroegere MD drie keer:

– Adviesdienst voor Geo-informatie en ICT (AGI) in 2003
– Data-ICT-Dienst (DID) in 2007
– RWS Centrale Informatievoorziening (RWS CIV) in 2013

Bovenstaande is een nogal kort door de bocht genomen schets van de gevolgen die de intrede van GeoICT en de nieuwe technieken voor aardobservatie hadden voor organisaties die een centrale rol spelen in de nationale ruimtelijke informatievoorziening. De institutionele ontwikkelingen die ik hier in kort bestek schets, rechtvaardigen eigenlijk een monografie op zichzelf. Feit is dat de technische ontwikkelingen het mogelijk maakten om een veel breder scala van producten en diensten aan te bieden, iets waarin de bestaande organisaties toen niet konden voorzien, zonder ingrijpende veranderingen in hun taken en werkprocessen. Vanaf de jaren '90 groeide het inzicht dat hier een nieuw probleemveld ontstond. Om de mogelijke gebruiker via de web toegang te geven tot de groeiende hoeveelheid en variëteit aan ruimtelijke informatie die zo langzamerhand werd aangeboden, werd de behoefte aan de inrichting van een

[32] Een ZBO is een zelfstandig bestuursorgaan dat een wettelijke overheidstaak uitvoert. De organisatie in bestuurlijke zin op afstand van de overheid gezet.

[33] Normaal Amsterdams Peil

Nationale Geo-informatie Infrastructuur, NGII, steeds meer manifest. Vanwege die groeiende behoefte werd bij Ministerieel Besluit van 02-06-2006 Geonovum opgericht om hierin de regie te nemen. Zo leidde de geschetste ontwikkelingen niet alleen tot de herstructurering van organisaties, maar ook ontstond er een toenemende behoefte tot de institutionele herpositionering van die organisaties, en zelfs tot een institutionele herstructurering daarvan.

12.2 Wetenschappelijke en beroepsorganisaties

Het volgende is verre van volledig en behandelt alleen een paar ontwikkelingen waar ik zelf bij betrokken ben geweest. Ik schets deze slechts ter illustratie van de effecten van de snelle veranderingen ten gevolge van de opkomst van GeoICT en aardobservatie in de laatste decennia van de 20ste eeuw. Organisaties die relatief lange tijd een welomschreven aandachtsveld hadden, moesten zich snel aanpassen op grote verandering daarin; en ook op een even snelle verandering in de disciplinaire samenstelling van de professionele gemeenschap die in dat veld actief was.

De Rijkscommissie voor Geodesie en haar opvolgers

Vrij snel na mijn benoeming in Wageningen werd ik gebeld door mijn leermester Baarda. Hij had twee boodschappen voor mij. Ten eerste vond hij dat wij elkaar maar moesten tutoyeren omdat ik nu ook hooggeleerd was. Niet dat het gelijk “Willem en Martien” werd, want we bleven elkaar wel met achternamen aanspreken. Het tweede punt was eigenlijk de reden waarom hij me belde. Vanwege mijn positie in Wageningen werd ik nu uitgenodigd om volwaardig lid te worden van de toenmalige Rijkscommissie voor Geodesie. In deze commissie voerden vooraanstaande personen uit de wetenschap en de belangrijkste uitvoeringsorganisaties overleg over de onderlinge afstemming tussen het wetenschappelijk onderzoek en de belangrijke ontwikkelingen in de praktijk binnen het traditionele aandachtsveld van de geodesie.

Als vertegenwoordiger uit Wageningen was ik met de rector van het ITC enigszins een buitenbeentje, want hoewel ik door mijn Delftse opvoeding een geodeet was, hield ik me met onderwerpen bezig die aan de rand van het interessegebied van commissie lagen. Dat gold in wezen ook voor het ITC. De remote sensing waarmee ITC en Wageningen zich bezighielden, was geen onderwerp van de commissie en is dat eigenlijk ook nooit echt geworden. De geo-informatica werd zelfs met enige argwaan bekeken, omdat er de vraag leefde of dat wel een echt wetenschappelijk aandachtsveld was. De commissie hield zich wel bezig met vastgoedregistratie en grootschalige topografie, maar dat was vooral vanuit het perspectief van de basis-informatievoorziening. Overigens kreeg ook de fotogrammetrie weinig of geen aandacht.

Rond 1989 begonnen mijn ideeën over de vraag waar een geo-informatietheorie over zou moeten gaan, vorm te krijgen. Dat gaf me voldoende argumenten om de commissie te overtuigen dat hier wel degelijk een belangrijk aandachtsveld lag. Dat leidde tot de instelling van een subcommissie GIS, de latere subcommissie Geo-informatie Modellen (GIM). Voor een belangrijk deel was het door het werk van deze subcommissie dat dit aandachtsveld binnen de commissie en haar opvolgers tot een centraal thema zou uitgroeien; dit wellicht ten koste van haar vroegere relaties met de geofysica en de astronomie.

Terzijde
Mijn voorstellen werden niet direct en zonder discussie geaccepteerd. Met name Baarda had zo zijn bedenkingen over dit thema. Een deel van de discussie liep als volgt:
B: Molenaar, ik heb je verhalen gelezen en ik moet zeggen dat het me nog niet direct duidelijk is waar je heen wilt.
M: Ja Baarda dat begrijp ik, maar volgens mij zijn er ook velen die zich lange tijd hebben afgevraagd waar jij nu mee bezig was; en het heeft lang geduurd voordat men dat ging begrijpen. Wellicht moet je ook hier wat geduld hebben.
De discussie eindigde met twee brede glimlachen.

De oorspronkelijke Rijkscommissie werd in 1990 als de Nederlandse Commissie voor Geodesie (de NCG) een onderdeel van de KNAW[34]. Vanwege een reorganisatie van de KNAW in 2013 nam ik als voorzitter samen met Jaap Besemer als vice voorzitter het initiatief om de commissie om te vormen tot stichting onder de naam Nederlands Centrum voor Geodesie en Geo-Informatie (het NCG).

Beroepsverenigingen

Toen ik na mijn studie in 1973 voor het eerst bij het ITC ging werken, werd ik lid van de Nederlandse Vereniging voor Fotogrammetrie (NVF). Dit was een kleine actieve vereniging opgericht door Willem Schermerhorn in 1932. Leden werden op de bijeenkomsten op de hoogte gebracht van actuele ontwikkelingen op het gebied van de luchtkartering. Vooral in de jaren ’80 werden er in Europa grote projecten uitgevoerd, die aantoonden dat de fotogrammetrie zich snel ontwikkelde tot een volwassen methode voor het uitvoeren van grootschalige karteringen. De fotogrammetrie bleek daarmee wat betreft geometrische kwaliteit gelijkwaardig te zijn aan de landmeetkunde. Vanuit de landmeetkunde werd hier lange tijd aan getwijfeld. In antwoord daarop initieerden vooral Duitse collega’s als Fritz Ackermann uit Stuttgart en Gottfried Konecny uit Hannover in Europees verband een aantal projecten waarmee de kwaliteit van fotogrammetrische karteringen werd aangetoond.

De belangstelling voor de bijeenkomsten van de NVF liep vanaf de jaren ’80 wat terug, omdat er in Nederland nogal wat was veranderd op het gebied van de fotogrammetrie. Grote organisaties als het Kadaster en MD-RWS, maar ook gemeentes, voerden steeds minder eigen projecten uit. Het werk werd uitbesteed aan de private sector, en die liet steeds vaker karteringswerk in het buitenland uitvoeren. Ik heb tijdens mijn reizen in China nogal eens gezien dat organisaties daar bezig waren met de uitwerking van Nederlandse projecten. Ook Oost Europese landen waren daarvoor in trek, zie (Anneveld en Molenaar, 2022). Die privatisering had tot resultaat dat de Nederlandse belangstelling voor technische ontwikkelingen in de fotogrammetrie minder werd. Uit een peiling onder organisaties bleek dat in ons land de werving van Delftse fotogrammeters lag op het niveau van ca één per twee jaar.

De NVF was voor Nederland lid van de “International Society for Photogrammetry and Remote Sensing” (ISPRS). Ik leidde vanaf 1984 een aantal werkgroepen van de ISPRS; aanvankelijk op thema’s in het kader van de Delftse School. Hieruit kwam het initiatief voort van het eerste ISPRS-tutorial ooit, verzorgd door Wolfgang Förstner en mijzelf. Dat was voorafgaand aan een symposium in Rovaniemi in Finland, zomer 1986. Vanaf de late jaren ’80

---

[34] Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen

organiseerde ik met buitenlandse collega's werkgroepen op het gebied van de geo-informatietheorie, hetgeen meer in lijn was met het onderzoek dat ik in Wageningen had aangevat. Door deze activiteiten kreeg ik met een aantal jonge Duitse collega's, onder wie Dieter Fritsch, Wolfgang Förstner en Armin Grün, al snel invloed op de ontwikkelingen binnen de ISPRS. Oorspronkelijk richtte deze organisatie (toen nog kortweg ISP genaamd) zich alleen op de fotogrammetrie. In 1980 werd de remote sensing ook omarmd, waarbij de naam werd uitgebreid tot ISPRS.

Na mijn benoeming in Wageningen werd ik naast de NVF ook lid van de Kring voor Remote Sensing (KRS), een tamelijk jonge maar snelgroeiende vereniging met een breed samengesteld ledenbestand. In 1987 werd ik voorzitter van de NFV als opvolger van Gerrit Ligterink, hoogleraar fotogrammetrie in Delft. Het leek me zinvol om ook de KRS bij het Nederlandse lidmaatschap van de ISPRS te betrekken. Ik initieerde daarom gesprekken om deze twee verenigingen de NVF en de KRS samen te voegen tot één nieuwe vereniging, die dan het Nederlands lidmaatschap van de ISPRS zou behartigen. Dat bleek toen echter nog een stap te ver te zijn. Daarom werd besloten om de twee verenigingen samen te laten werken in de daartoe nieuw opgerichte Federatie voor Aardobservatie en Geo-Informatie, waarvan ik van 1988 t/m 1990 fungeerde als eerste voorzitter om deze federatie op gang te helpen.

Zo nam de federatie het initiatief om het vierjaarlijkse internationale congres van de ISPRS naar Nederland te halen. We wilden daarmee Nederland een hoger profiel bezorgen, vooral op het gebied van de Remote Sensing. Om in dat streven sterker te staan, werd uiteindelijk toch besloten om de nieuwe federatie om te vormen tot één vereniging: de Kring voor Aardobservatie en Geo-Informatie (KvAG)[35]. Van 1995 t/m 2001 was ik daarvan voorzitter met de opdracht om het vierjaarlijkse ISPRS-congres binnen te halen. In 1996 deed zich een buitenkans voor omdat Klaas Jan Beek na vier termijnen, dat is 16 jaar, zou terugtreden als rector van het ITC. Hij bleek bereid om zich kandidaat te stellen voor de functie van Congress Director. Zijn internationale profiel en zijn betrokkenheid bij ISPRS maakten hem daar zeer geschikt voor. Op het vierjaarlijkse ISPRS-congres in Wenen, in 1996, werd hij inderdaad verkozen.

> ***Terzijde***
> *De belangrijkste concurrent was Indonesië, hetgeen hem bij zijn aanvaardingsspeech de opmerking ontlokte: "dit was een merkwaardige competitie waarbij de eerste prijs bestaat uit vier jaar hard werken, en de tweede prijs uit een mooie vakantie op Bali!" Vanaf dat moment moesten we inderdaad het congres van 2000 in Amsterdam voorbereiden.*

Met een aantal internationale collega's streefde ik naar een verdere uitbreiding van het aandachtsveld van ISPRS door ook de geo-informatie daarin te betrekken. Dat was nog een verre van uitgemaakte zaak, want in die tijd zag nog lang niet iedereen dit als een thema voor deze organisatie. Er waren zelfs leden die nog steeds vraagtekens zetten bij de remote sensing als onderwerp. We grepen daarom de gelegenheid aan om verder druk te zetten op de acceptatie van geo-informatie als integraal onderdeel van het aandachtsveld van ISPRS, door het congres

---

35 Per 2003 is deze kring met een aantal andere verenigingen opgegaan in de huidige vereniging "Geo-Informatie Nederland", oftewel GIN. Daarmee is jammer genoeg de remote sensing weer voor een belangrijk deel uit het zicht verdwenen.

als thema “Geo-Information for All!” te geven. Dat lukte, tijdens het congres in Amsterdam werd dit onderwerp als een officieel thema aanvaard.

De OEEPE

De Europese fotogrammetrische projecten waarover hierboven is gesproken, werden uitgevoerd in het kader van de Organization Europeene d’Etudes Photogrammetriques Expérimentale, of kortweg de OEEPE. Dat was een verdragsorganisatie van een aantal Europese landen, die in 1953 was opgericht om de ontwikkeling en toepassing van de fotogrammetrie te bevorderen. De Nederlandse mede-initiatiefnemer hiertoe was Willem Schermerhorn. Hij had aangeboden dat het ITC het uitvoerend bureau en secretariaat zou huisvesten. Vanaf de oprichting werden zeer succesvolle projecten uitgevoerd teneinde toepassingsmogelijkheden van de fotogrammetrie te verkennen en uit te breiden. En dat heeft geleid tot de emancipatie van de fotogrammetrie als een volwaardige erkende kartering-methodiek naast de traditionele landmeetkunde.

Na mijn benoeming in Wageningen werd ik in 1984 lid van de Nederlandse adviescommissie van de OEEPE. En na mijn overstap naar het ITC werd ik in 1997 de vertegenwoordiger van Nederland, ook nu weer als opvolger van Gerrit Ligterink. De organisatie had een bestuur, een “Steering Committee”, en een wetenschapscommissie, “Science Committee”. Het bestuur bepaalde het beleid en de strategie van de organisatie. De wetenschapscommissie deed voorstellen voor het onderzoeksprogramma en beoordeelde bovendien voorstellen voor onderzoek. Het bestuur besliste dan over de uitvoering van het onderzoek; de afzonderlijke leden, de deelnemende landen, konden besluiten aan welke projecten ze wilden meedoen.

In 2000 werd ik voorzitter van de Science Committee. Ik aanvaardde deze positie op voorwaarde dat de organisatie haar missie en aandachtsveld zou verbreden vanwege de recente veranderingen van het werkveld. De nationale karteringsdiensten van de meeste Europese landen hadden zich verenigd in de koepelorganisatie EuroGeographics, met als doel om meer invloed te hebben op het Europese beleid ten aanzien van ruimtelijke informatievoorziening. Bovendien streefde men een harmonisatie na van diensten en producten; en daarbij werd er gewerkt aan de inrichting van een Europese Geo-Informatie-Infrastructuur – GII (Molenaar, 2003). Indien de OEEPE hierin een rol wilde spelen, dan moest ze haar aandachtsveld veel ruimer stellen dan alleen de fotogrammetrie. Er was echter nog wel verzet van oudere fotogrammeters tegen deze beweging, maar met de wisseling van generaties onder de vertegenwoordigers van de landen kon uiteindelijk toch de noodzakelijke bocht worden genomen.

Een nieuwe missie betekende echter ook dat het verdrag waarop de OEEPE was gebaseerd vernieuwd moest worden. Vanuit het Ministerie van Buitenlandse Zaken liet men mij weten dat ik dan de minister (toen Maxime Verhagen van het CDA) zou moeten uitleggen waarom dit voor Nederland van belang was. Dat leek me te gortig, en gelukkig dachten mijn buitenlandse collega’s daar ook zo over. Daarom werd aan de OEEPE een private organisatie met een eigen missiestatement toegevoegd. Dat werd een non-profit organisatie volgens Iers recht, want Ierland voerde op dat moment het secretariaat. Zo werd de organisatie voor European Spatial Data Research, kortweg EuroSDR, geboren. De naam verwijst al naar het verbrede aandachtsveld. Na de benodigde beraadslagingen werd het volgende missiestatement geformuleerd:

[EroSDR wants] to be the European research platform for National Mapping Agencies (NMAs), Academic Institutes, Private Sector, Industry and User's Groups, on issues related to the implementation of technology developments in view of optimising the provision (collection, processing, storage, maintenance, visualisation, dissemination and use) of core data (data serving as a spatial framework for organisations involved in monitoring, management and development) in a Geoinformation Infrastructure (GII) context.

Daarmee kon EuroSDR een relevante en sterke positie ontwikkelen in relatie tot EuroGeographics. Nadat deze reorganisatie plus herformulering van de missie een feit was, kon het Science Committee een nieuw onderzoeksprogramma formuleren. Nadat dit programma geaccepteerd was, ben ik in 2004 teruggetreden uit de organisatie en heeft Jantien Stoter mijn plaats als vertegenwoordiger van Nederland overgenomen.

Terzijde
Deze ontwikkeling had nog een kort staartje. Ik werd later door Buitenlandse Zaken gebeld met de mededeling, dat de formele deelname van Nederland aan het verdrag nooit een feit was geworden. Schermerhorn had in overleg met het ministerie aan de onderhandelingen over het verdrag meegedaan, maar dit verdrag heeft Nederland nooit geratificeerd. Dus Nederland had van het begin af aan een grote rol in de organisatie gespeeld, zonder er ooit formeel lid van te zijn.

12.3 Verhoogde professionele dynamiek en globalisatie

Hierboven werd een korte schets gegeven van de impact die de snelle ontwikkeling van de GeoICT had op het werkveld van de ruimtelijke informatievoorziening. Het door deze technologie gestimuleerde wetenschappelijke onderzoek leverde nieuwe concepten voor ruimtelijke representaties; en de technologie zelf stimuleerde de ontwikkeling van nieuwe GI-producten en diensten. Door de digitalisering was de integratie van verschillende soorten data steeds eenvoudiger geworden, en konden deze data voor verdere analyse rechtstreeks worden ingevoerd in verwerkingsmodellen van de gebruikers.

In de eerste twee decennia van de 21ste eeuw (ca 2000-2020) zagen we de groeiende beschikbaarheid van 3D-representaties, zoals 3D-stadsmodellen en streetviews. Daarbij zag men in het onderzoek al de eerste ontwikkelingen waarbij het onderscheid tussen binnen en buiten begon te verdwijnen, de ruimtelijke informatie houdt niet noodzakelijkerwijze meer op bij de voordeur. Men kan daarbij virtueel vanaf de straat gebouwen binnengaan, zoals winkelcentra, ziekenhuizen en stationscomplexen. Deze mogelijkheid is echter nog lang geen standaardvoorziening in de huidige 3D-stadsmodellen.

De digitalisering van gegevens en verwerkingsprocessen leidde er ook toe dat niet langer gebruik gemaakt hoefde te worden van hoog specialistisch duur instrumentarium, zoals vroeger voor de fotogrammetrie en cartografie. Het werk wordt nu uitgevoerd op computers of laptops waarop de benodigde software wordt gedraaid. Door de snelle ontwikkeling van deze hardware en software verkortte de investeringshorizon van de eerdergenoemde ca 20 jaar naar pakweg 3 jaar. Deze toegenomen dynamiek heeft geleid tot een doorlopende herstructurering van het GI-werkveld en de instituties die daarin een rol spelen. Voor de werkers in dit veld betekent dit dat hun kennis en competenties snel verouderen, zodat men doorlopend moet worden bijgeschoold of omgeschoold teneinde de nieuwe ontwikkelingen bij te houden. Bovendien is tijdens de laatste decennia ook de verscheidenheid aan disciplines aanzienlijk toegenomen van

de personen die in de geo-informatievoorziening werken, waardoor de traditionele karteerberoepen hier niet langer dominant zijn.

Vroeger speelde de publieke sector in veel landen een hoofdrol op dit veld; nu is deze rol steeds meer naar de private sector verschoven. De publieke sector kreeg een regievoerende rol, terwijl de private sector zich sterk richt op de levering van producten en diensten. Beide partijen moeten samen zorgdragen voor de inrichting van een geo-informatie-infrastructuur GII, om gebruikers toegang te geven tot de grote hoeveelheid en variëteit van diensten en producten. Dit veld was voorheen vooral op nationaal niveau georganiseerd, maar het internationaliseerde snel; het globaliseerde zelfs. Vooral de ontwikkeling van het Internet en het World Wide Web speelden hierbij een grote rol. Het werd steeds eenvoudiger om data over de wereld rond te sturen, waardoor er mondiale ketens ontstonden voor het leveren van GI-producten en -diensten. Dit leidde ertoe dat ook op mondiaal niveau gestreefd wordt naar de inrichting van een Global Spatial Data Infrastructure (GSDI), en daarom dus ook naar de harmonisatie van begrippen en concepten, zoals door OGC[36]. Of het daarbij om één enkele GSDI gaat, of om meerdere gaat, is nog de vraag.

13 De dynamisering van ons wereldbeeld

Van "Moeder Aarde" naar "Planeet Aarde"

De jeugd van mijn generatie was in de jaren '50 en '60 en begin jaren '70; dat waren de eerste decennia na de tweede wereldoorlog. Die oorlog was gewonnen door de geallieerden, onder leiding van de Amerikanen. Later werd duidelijk dat de rol van het Sovjetblok in onze geschiedenislessen nogal onderbelicht was gebleven, omdat dat werd gezien als het kwaad uit het Oosten, met China op de achtergrond. In de periode van de Koude Oorlog, was dat de grote bron van spanningen. Maar verder was ons leven tamelijk onbezorgd, want het was een tijd van schijnbaar onbelemmerde economische groei en vooruitgang. De aarde waarop we leefden werd huiselijk "Moeder Aarde" genoemd; ze was een onuitputtelijke bron die ons voedde en ons voorzag van grondstoffen voor de snelgroeiende industriële samenleving. De aarde werd gezien als een moeder met eeuwig vloeiende borsten.

Luchtfoto's en later satellietbeelden waren belangrijke hulpmiddelen om winbare grondstoffen op te sporen, om stedelijke groei en ontwikkeling te plannen en om nieuwe arealen voor landbouw en plantages in kaart te brengen. Ruimere voedselvoorziening, schoon drinkwater en verbeterde hygiëne en gezondheidszorg leidden tot een gestage groei van de wereldbevolking en daarmee tot een steeds snellere verstedelijking. Deze ontwikkelingen gingen meer en meer ten koste van nog onontgonnen gebieden en van vaak nog ongerepte natuurlijke ecosystemen. In die eerste decennia na WO II maakte men zich nog niet al te veel zorgen over de nadelen van deze ontwikkelingen.

Maar toen werd in 1968 de beroemde Earthrise foto vanuit Apollo 8 gepubliceerd; zie *Fig. 28*. Opeens zagen we Moeder Aarde als een kwetsbare blauwe planeet; en we realiseerden ons dat deze eenzame planneet de enige was die de mensheid een reële bestaansmogelijkheid bood. Het werd nu duidelijk dat die bestaansmogelijkheid begrensd was, doordat de bronnen die de aarde bood eindig waren; we zouden daar dus zuinig mee moeten om gaan. Deze beperking werd nog eens benadrukt door het rapport van de Club van Rome, gepubliceerd in 1972, onder

[36] OGC is Open Geospatial Consortium: https://www.ogc.org/

de titel “Grenzen aan de Groei”. Al snel daarna werd de liefdevolle term “Moeder Aarde”, die de onuitputtelijkheid van onze aardse hulpbronnen veronderstelde, vervangen door de meer zorgelijke term “Planeet Aarde” of kortweg “de Planeet”. Die aanduiding benadrukte dat we door onze manier van leven onze hulpbronnen uitputten. Bovendien had het verbruik van die bronnen ook nog een dusdanig negatieve invloed op het leefmilieu, dat dit op catastrofale wijze bleek te degenereren.

Fig. 28: Apollo 8 - Earthrise

De rol van de aardobservatie verschoof daarmee steeds meer naar het bewaken van die bronnen, men zocht naar strategieën om de uitputting hiervan mét de negatieve effecten op het milieu te temperen, of zelfs te voorkomen. Het ging hier duidelijk om dermate grootschalige problemen, dat die tot mondiale samenwerking noopten. Internationale organisaties werden opgericht om die samenwerking te bewerkstelligen; en internationale programma’s voor aardobservatie moesten die samenwerking ondersteunen. De ontwikkeling van een GSDI stond niet langer alleen in het teken van de groei van mondiale ketens voor de levering van GI-producten en -diensten. Het werd meer en meer een basisvoorziening voor de broodnodige mondiale samenwerking om de hierboven geschetste ontwikkelingen op de planeet te monitoren en zo mogelijk te beteugelen.

Van “Planeet Aarde” naar “Systeem Aarde”

In de loop der jaren kwamen er steeds meer satellieten voor het monitoren van een steeds groter scala aan fysische en chemische kenmerken van zowel het aardoppervlak als de atmosfeer en de oceanen. In het verleden gaven opnames over langere tijd de mogelijkheid om veranderingen bij te houden en de toestandsbeschrijving van het aardoppervlak van tijd tot tijd bij te stellen. Maar langzamerhand nam de frequentie van deze opnames toe, waardoor de toenemende stromen aan beelden nu als video’s afgespeeld konden worden. Daardoor werd het mogelijk om veranderende fenomenen op aarde als processen te visualiseren, hetgeen leidde tot een fundamenteel andere kijk op onze planeet. De traditionele statische presentaties van de

toestand op het aardoppervlak werden gaandeweg steeds meer aangevuld met degelijke dynamische visualisaties.

Daardoor zien we de situatie op het aardoppervlak aarde niet langer als een opvolging van toestanden, RS-beelden worden nu veeleer gezien als momentopnames van de uitwerking van meerdere onderling gekoppelde processen. En daarmee wordt de aardobservatie naar een ander en hoger niveau getild, waarbij de term “Planeet Aarde” nu vervangen wordt door de term “Systeem Aarde”.

Terzijde
Bij het brede publiek is de hier beschreven omslag van “statisch” naar “dynamisch” het meest duidelijk geworden bij de weersvoorspelling op tv. Niet langer wordt, zoals vroeger, alleen een kaartje gemaakt van het verwachte weer voor morgen; men toont nu de zich ontwikkelende weersystemen op een continentale schaal en leidt daaruit af hoe naar verwachting het weer zich over meerdere dagen zal ontwikkelen.

Aan de mensheid is nu de taak om te bezien of en hoe men deze gekoppelde processen kan bijsturen, om te voorkomen dat ze tot een catastrofale degeneratie van onze leefomgeving leiden. En deze degeneratie is niet langer alleen gelegen in de dreigende uitputting van onze hulpbronnen met daarbij als gevolg de teloorgang van ons leefmilieu, zoals men eind jaren ’60 en begin jaren ’70 nog dacht. Het werd gedurende de laatste decennia steeds duidelijker dat onze leefwijze ook zal leiden tot mogelijk catastrofale klimaatveranderingen. Al deze ontwikkelingen bij elkaar zullen, zoals men nu vreest, een dramatisch einde van de mensheid op aarde tot gevolg kunnen hebben.

Een veranderende rol voor geo-informatie en aardobservatie

De stapsgewijze verandering in de perceptie van onze wereld, hier beschreven als de overgang van “Moeder Aarde” naar “Systeem Aarde”, is waarschijnlijk de meest dramatische paradigmatische omslag in de zin van (Kuhn, 1979). Een paradigmatische revolutie die duidelijk maakt dat de verantwoordelijkheden van de mens voor haar leefomgeving op een fundamenteel dieper en complexer niveau liggen dan men altijd dacht. De rol van de aardobservatie en geo-informatie kreeg hierbij een andere en nog belangrijkere betekenis.

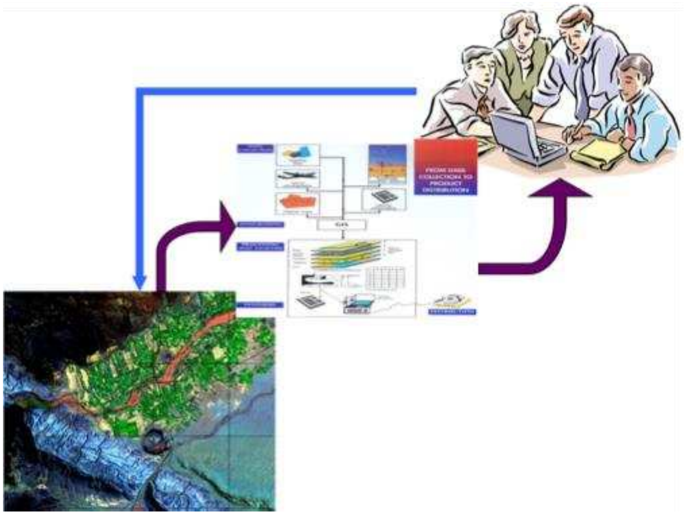


Fig. 29: Geo-informatie voor het bijsturen van mondiale processen.

Met het gegroeide inzicht in de dynamiek van onze mondiale leefomgeving, verschoof die betekenis naar het monitoren en het besturen van ruimtelijke processen.

Het gebruik van deze informatie moet daarom worden ingebed in bestuurlijke en politieke processen, die leiden tot de daarvoor benodigde besluitvorming en maatregelen (*Fig.29).* Het is dan ook van groot belang dat deskundigen, en daaronder experts op het gebied van de GI-voorziening en aardobservatie, samenwerken in een multidisciplinaire setting. Ze dienen ervoor te zorgen dat men wereldwijd hetzelfde begrip heeft over de aard van deze processen, over hun huidige status, over de te verwachten ontwikkelingen en over de opties die er zijn om deze in een goede richting te sturen.

Bij de opkomst van de geo-informatie en aardobservatie richtten professionals in eerste instantie hun aandacht op de technische aspecten van het vakgebied en op de vraag hoe daarmee voor gebruikers relevante informatie kon worden geproduceerd. Na die eerste fase richtte men zich ook op de organisatorische, institutionele en infrastructurele aspecten van de informatievoorziening voor brede groepen gebruikers. Aanvankelijk gebeurde dit op nationaal niveau, maar al snel ook op internationaal niveau. De oorspronkelijke globalisering van de geo-informatievoorziening was voor een belangrijk deel het gevolg van de snelle ontwikkeling van de (Geo-)ICT. De dynamisering van ons wereldbeeld leidt nu echter tot een diepere vorm van globalisering, men wordt zich bewust van een mondiale problematiek, die noodzaakt tot mondiale samenwerking om die processen te beheersen. In de fase waarin we nu zijn aangekomen, is het duidelijk dat een goed begrip nodig is van bestuurlijke en politieke besluitvormingsprocessen op zowel nationaal als internationaal niveau. Dat begrip is onmisbaar voor een relevant gebruik van geo-informatie en aardobservatie bij het monitoren en bijsturen van "Systeem Aarde".

DEEL IV De onderzoeker wordt bestuurder

Op het moment dat ik per januari 2001 rector werd van het ITC, kwam mijn loopbaan in een geheel andere fase. Het was feitelijk het einde van mijn actieve betrokkenheid bij wetenschappelijk onderzoek. Voortaan zou ik de ontwikkelingen op het gebied van GeoICT en aardobservatie, en wat daarmee samenhing, wat meer op afstand en meer beschouwelijk volgen. Die observaties mèt de in de voorgaande jaren verworven inzichten, zou ik nu inzetten om het ITC voor te bereiden op een nieuwe toekomst. Sinds de val van de Berlijnse muur veranderden de internationale en intercontinentale verhoudingen op velerlei gebieden. Die betroffen onder meer de mondiale politieke verhoudingen, de wereldeconomie, de handel en het financiële systeem; en die betroffen ook de ontwikkeling van een mondiale kennissamenleving. Dit alles werd in belangrijke mate gefaciliteerd door de intensieve wereldwijde transportsystemen en de moderne ICT-voorzieningen. Deze bewegingen vatte men samen onder de term "Globalisering". Er groeide enige tijd een onwrikbaar geloof in de opkomst van een globale samenleving. Dit had grote repercussies voor de wereld van het ITC, vooral door de internationalisering van het hoger onderwijs, maar natuurlijk ook door de sterk veranderende wereld van internationale samenwerking en ontwikkelingshulp. Deze trends èn de dynamiek van het aandachtsveld van het ITC, de GeoICT en aardobservatie, leidden tot de noodzaak om strategisch na te denken over de toekomst van het instituut. Daar zou ik nu mijn aandacht op moeten richten, het was weer een totaal nieuwe uitdaging.

14 De veranderende wereld van het ITC

Het ITC is in 1950 opgericht door Willen Schermerhorn. (Voor de namen die het ITC door de jaren heen voerde zie Annex 6). Hij speelde als oud-minister-president een belangrijke rol bij de onderhandelingen over de onafhankelijkheid van het huidige Indonesië. Hij was daar voor de Tweede Wereldoorlog betrokken geweest bij grote karteringsprojecten, vooral uitgevoerd met luchtfoto's. Op vluchten naar Indonesië maakte de KLM in die tijd nog een aantal tussenstops in Zuid-Europa, in Arabische landen, in Iran en in India. Tijdens die stops gebruikte Schermerhorn de gelegenheid om contact te leggen met locale autoriteiten en karteringsorganisaties. Dat gaf hem het inzicht dat veel landen grote behoefte hadden aan modern opgeleid personeel om efficiënt en snel in de groeiende behoefte aan kaarten te kunnen voorzien. Vanuit dat inzicht nam hij het initiatief tot de oprichting van het ITC. De hoofdtaak bij de oprichting was dus de her- en bijscholing van professionals uit de karteringswereld op het gebied van moderne, op luchtfoto's gebaseerde technieken. Dat het professionals waren, betekende dat ze al een hogere beroepsopleiding hadden voltooid en al meerdere jaren hadden gewerkt. Zij werden door hun werkgevers naar het ITC gestuurd. Het ging dan vooral om professionals uit landen die zich in die tijd losmaakten van hun koloniale banden, de groep van latere ontwikkelingslanden, of derdewereldlanden. De opdracht van het ITC was dus het verzorgen van hoger onderwijs voor mensen uit ontwikkelingslanden. Dat betekende dat het instituut te maken had met zowel het Ministerie van OCW als de Minister voor Ontwikkelingssamenwerking (OS): OCW financierde het instituut; OS financierde beurzen voor studenten uit de doellanden, en ook de uitvoering van projecten in die landen. Daarbij hielden beide ministeries de eigen beleidslijn aan.

Ter gelegenheid van het 12de lustrum van het ITC is in 2010 een boek uitgebracht met de titel "60 years of ITC" (Disco, 2010). Het beschrijft de geschiedenis van het ITC vanaf de oprichting

tot het moment dat het onderdeel werd van de Universiteit Twente. De behandeling van deze geschiedenis is opgedeeld in vier periodes, min of meer samenvallend met tijd dat een bepaalde rector aan het roer stond. Alle periodes worden gekenmerkt door grote veranderingen. De vierde en laatste periode loopt van 2000 tot en met 2010 en valt daarmee ruwweg samen met mijn periode als rector. Eerst wordt beschreven waarom het ITC werd opgericht, en vervolgens welke ontwikkelingen het daarna heeft doorgemaakt. Sinds het begin van de jaren ’70 was vooral de opkomst van eerst de remote sensing en later de GeoICT bepalend voor de ontwikkeling van het aandachtsveld. Daardoor was het nodig om van tijd tot het tijd het academisch domein van het instituut opnieuw te structureren en af te bakenen. Maar ook het beleid ten aanzien van ontwikkelingssamenwerking was doorlopend aan verandering onderhevig, en daar kwam later de snelle internationalisering van het hoger onderwijs nog bij.

Wat dat laatste betreft had vooral de “Verklaring van Bologna” in 1999 een grote impact. Deze verklaring zou leiden tot ingrijpende herstructurering en harmonisering van het hoger onderwijs in de Europese Unie. De invoering van een gemeenschappelijk stelsel van academische graden in de EU, de Bachelor-Master structuur (BaMa-structuur), was daarbij leidend. Het stimuleerde de mobiliteit van academische staf en studenten binnen Europa. Bovendien zou deze ingreep het voor studenten van buiten EU aantrekkelijker maken om hier te komen studeren. Daarnaast had de val van de Berlijnse muur en daarop het uiteenvallen van het Sovjetblok geleid tot een versnelde globalisering van de wereldeconomie. Binnen de World Trade Organization (WTO) werden onderhandelingen gevoerd over het wereldwijd openstellen van markten voor de handel in goederen, kapitaal en diensten Deze resulteerden in GATS. Met name dat derde onderdeel zou van grote invloed blijken op de voorwaarden waaronder ITC voortaan internationaal onderwijs kon verzorgen. Dit alles was een gerede aanleiding om bij mijn aantreden als rector in 2001 de strategische doelen van het ITC aan te passen op deze snel veranderende omstandigheden. Daarbij werden drie strategische hoofdthema’s geïdentificeerd: het academische profiel van het instituut, de samenwerking met overheden en organisaties in vooral de doellanden[37] van het ITC, en de uiteindelijke inbedding in het Nederlandse universitaire bestel.

Naast ITC waren in de jaren ’50 nog vier instellingen voor internationaal onderwijs opgericht[38]. Deze vijf IO-instellingen hadden ieder in hun eigen academische domein een vergelijkbare rol binnen het internationaal onderwijs. Ze hadden daarom ook een vergelijkbare verhouding met zowel het Ministerie van OCW als OS. Vanaf 1996 hebben ze hun krachten gebundeld in een koepelorganisatie, de stichting SAIL[39], die hun gezamenlijke belangen bij deze ministeries behartigde. Oorspronkelijk was ook de Landbouwuniversiteit Wageningen (LUW) verbonden met SAIL, maar vlak voor de hier beschreven ontwikkelingen had die zich daaruit

[37] Doellanden stonden op de officiële lijst van de Development Assistance Committee, de DAC-lijst. DAC is onderdeel van de Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). Daarenboven hadden de aangewezen doellanden prioriteit in het Nederlands OS-beleid.

[38] Dat zijn het “International Institute of Social Studies” (ISS) in Den Haag, het “Delft Institute for Water Education” (IHE), het “Institute for Housing and Urban Development Studies” (IHS) in Rotterdam, en de “Maastricht School of Management” (MSM).

[39] SAIL stond voor: “Samenwerkingsverband instituten Internationaal onderwijs en Landbouwuniversiteit Wageningen”

teruggetrokken. De ontwikkelingen die nu op deze instellingen afkwamen, waren een extra reden om de krachten te bundelen.

14.1 Het academische profiel

De ontwikkeling van de GeoICT en de snel toenemende variëteit aan satellieten voor aardobservatie mét de verschuiving van het statische naar het dynamische beeld van de aarde, leidde tot een veelheid aan nieuwe toepassingen. Daarbij werden maatschappelijke actoren zich steeds meer bewust van de potentie die deze stroom aan informatie had voor een breed spectrum aan ruimtelijk georiënteerde problemen en toepassingen, zoals het zoeken naar hulpbronnen, het plannen en beheren van snelgroeiende verstedelijkte regio's, en het stimuleren van duurzaam landgebruik. Maar zeker zo relevant waren nu de mogelijkheden voor het monitoren van, en het ingrijpen in, de degeneratie van onze leefomgeving en van natuurlijke ecosystemen. Daarenboven was deze informatie van groot belang voor het krijgen van inzicht in de gevolgen van klimaatverandering, voor het inschatten van risico's van rampen en het inventariseren van de veroorzaakte schade en voor het plannen van hulpacties bij rampen. Er was daarbij duidelijk een verschuiving van de aandacht van de traditionele gestandaardiseerde productie- en gebruiksprocessen van ruimtelijke informatie naar het innovatieve gebruik van de informatie voor de aanpak van acute brede maatschappelijke problemen op zowel regionale, nationale als mondiale schaal.

Voor de aanpak van al deze onderwerpen was er behoefte aan hoogwaardig onderzoek. Dat vereiste multidisciplinaire samenwerking, niet alleen binnen het instituut maar ook met universiteiten en maatschappelijke organisaties in binnen- en buitenland. Wat dat laatste betreft ging het vaak om organisaties in de doellanden. Dit alles gaf goede redenen om de onderzoeksinspanningen in het instituut opnieuw te structureren. ITC had een beperkte omvang, de academische basisstructuur bestond uit circa vijftien leerstoelen met staf verdeeld over zes wetenschappelijke afdelingen. Er moest dus voor gewaakt worden dat de onderzoeksthema's niet al te dun gespreid werden. Het onderzoeksprofiel van het instituut moest zo gekozen worden dat daarmee een goede strategische positie in het aandachtsveld ontwikkeld kon worden. Van daaruit kon men een relevante bijdrage leveren aan de problemen waar onze doellanden mee te maken hadden. Bovendien moest binnen dat profiel een hoge academische kwaliteit ontwikkeld worden voor zowel onderzoek als onderwijs.

In de Verklaring van Bologna werd vereist dat bij de invoering van de BaMa-structuur de BSc- en MSc-programma's worden gedragen door wetenschappelijk onderzoek waarin de docenten participeren. Bovendien was een kwalitatief goed en duidelijk onderzoeksprofiel een belangrijke voorwaarde om als aantrekkelijke partner voor samenwerking gezien te worden door zowel academische als maatschappelijke organisaties. Uitgaande van deze criteria werd een onderzoeksprogramma ingericht, dat om de vijf jaar opnieuw bezien zou worden. Centraal stond de ontwikkeling en het gebruik van geo-informatie en aardobservatie voor de levering van GeoICT-producten en -diensten voor een breed scala aan gebruikers. Daarbij ging het zowel om de technisch-methodische aspecten van de geo-informatievoorziening, als om de organisatorische, infrastructurele en institutionele aspecten. Hierbij werd vooral aandacht besteed aan de rol van geo-informatie voor de eerdergenoemde probleemvelden. Om naar de buitenwereld duidelijk te maken welke positie ITC voortaan in haar academische domein innam, werd de naam van het instituut nogmaals aangepast; het werd nu "*International Institute for Geo-Information Sciences and Earth Observation*".

Terzijde
De nieuwe naam werd tijdens een feestelijke bijeenkomst gepresenteerd. Om iedereen duidelijk te maken dat de oude naam was vervallen werd die in banketletters uitgespeld en vervolgens door de ITC-gemeenschap opgegeten. En om er aan de nieuwe naam te wennen kreeg iedereen een fles rode wijn met die naam op het etiket.

Het onderzoeksprogramma dat het ITC nu ontwikkelde was dus voor een belangrijk deel gericht op de problematiek waar organisaties in de doellanden mee geconfronteerd werden. En dat zorgde ervoor dat het onderzoek relevant was voor de studentenpopulatie, die nu ook snel veranderde. Vroeger waren dat, zoals hierboven beschreven, merendeels werknemers van organisaties die ruimtelijke informatie produceerden en/of gebruikten. Dat ging dan veelal om bodemkundigen, landbouwkundigen, bosbouwers, stadsplanners, geologen, landmeters etc., die waren opgeleid om karteringen uit te voeren binnen hun discipline. Nu werd echter een duidelijke trend zichtbaar waarbij het substantieel deel van de studenten een MSc-programma wilde volgen, om daarna een promotieonderzoek te doen. Hun vraag verschoof daarmee van een professionele opleiding naar een wetenschappelijke. Het ITC had al een begin gemaakt met een programma voor PhD-kandidaten en dat werd nu verder uitgebouwd. Het werd nu met het MSc-programma door een onderzoeksprogramma gedragen. Dat programma richtte zich op relevante thema's en daarmee stond het ook wereldwijd aan de frontlijn. Het zwaartepunt van het onderwijs van het ITC werd zo omgevormd van professionele bij- en herscholing tot wetenschappelijke MSc-programma's en PhD-programma.

14.2 Internationale samenwerking

Vanaf de oprichting van het ITC concentreerde het onderwijs zich in Nederland, eerst in Delft en vanaf 1971 in Enschede. Naast het onderwijs waren er aanvullende activiteiten met veel van de organisaties waar de studenten vandaan kwamen. In projecten werden die ondersteund bij de invoering van moderne karteringstechnieken en ook bij de uitvoering van bijzondere karteringsprojecten. In dat verband werden voor het betrokken personeel vaak trainingen op locatie gegeven. Vanaf de jaren '70 ontvouwde Jan Pronk, de toenmalige Minister voor OS, een beleid waarin organisaties de opdracht kregen om structurele door OS gefinancierde taken naar de doellanden over te dragen. Het ITC richtte toen met partners in een aantal landen zogenaamde dochterinstituten op, die verzorgden lokaal in nationaal en/of regionaal verband cursussen op verschillende thema's.

Omdat vanaf die tijd de samenwerking met partijen in onze doellanden een zwaartepunt was in de strategie van het ITC, had ik bedongen dat in de directie een portefeuillehouder werd benoemd om hier structureel aan te werken. Op die post werd Sjaak Beerens benoemd. Hij had een brede en lange ervaring met projecten in ontwikkelingslanden en hij had ook een aantal jaren het projectbureau van het ITC geleid. Samen formuleerden we nu de uitgangspunten voor de internationale strategie van het ITC, daarna zou hij zorgdragen voor de realisatie. De strategie had de volgende hoofdpunten:

a) De snelle ontwikkeling van de GeoICT en aardobservatie leidde internationaal tot een grote vraag naar personeel met een hogere, veelal academische opleiding. Het ITC zou deze groeiende vraag nooit alleen aankunnen. Bovendien hadden we bij bezoeken aan onze doellanden gezien dat veel universiteiten daar prima in staat waren om zelf basisopleidingen in dat domein te verzorgen. Daarom besloten we om met een aantal daarvan gezamenlijke MSc-programma's te verzorgen. Het ging in essentie om programma's van het ITC, die nu

gedeeltelijk overzee verzorgd werden. De studenten zouden dan een ITC-diploma krijgen en eventueel ook een diploma van de lokale partner. Met de partners werd in dat verband ook een aanvullende samenwerking aangegaan om hun staf voldoende bij te scholen om de programma's te kunnen verzorgen.

b) Voor het verzorgen van MSc-programma's diende de staf van die universiteiten ook actief te zijn in onderzoek. Veel van de partnerinstellingen hadden nauwelijks of geen ervaring op dat gebied. Daarom werden afspraken gemaakt over samenwerking in onderzoek. Stafleden van die partners zouden daartoe deelnemen aan het PhD-programma van het ITC.

c) Toen ik aantrad als rector hadden we de onderwijsprogramma's van het ITC net geherstructureerd. Dit was gebeurd onder leiding van de toenmalige conrector Niek Rengers. De afzonderlijke programma's kregen daarbij een gemeenschappelijke structuur, opgebouwd uit modules die telkens in een bepaalde periode verzorgd werden. Studenten kregen daarmee enige flexibiliteit om een deel van hun programma zelf samen te stellen met keuzemodules. Deze opzet maakte het ook mogelijk voor studenten van elders om korte cursussen, samengesteld uit één of meerdere van die modules, te volgen zonder dat men een compleet studieprogramma op het ITC hoefde te volgen. Hiermee konden we ook staf van organisaties waarmee we samenwerkte de gelegenheid geven om zich op speciale onderwerpen bij te scholen.

d) Veel organisaties in de doellanden moesten worden gereorganiseerd vanwege de invoering van nieuwe werkprocessen. Soms leidde de invoering van nieuwe technologie zelfs tot een herverdeling van taken tussen organisaties, of moesten nieuwe organisaties ingericht worden. Dat had dan vaak een institutionele herinrichting van het werkveld op nationaal niveau tot gevolg. ITC ondersteunde dergelijke processen met workshops om de leidinggevende staf te begeleiden bij het voorbereiden en doorvoeren van dergelijke reorganisaties of institutionele herinrichtingen. Daarbij werd dan vaak ook een opleidings- en trainingsprogramma geformuleerd voor de staf die in de nieuwe setting moest werken.

In het verleden concentreerde de capaciteitsontwikkeling voor organisaties zich op de scholing van het personeel en de ondersteuning bij de invoering van nieuwe werkprocessen. In deze nieuwe strategie werd capaciteitsontwikkeling nu dus op drie niveaus benaderd:

- training of opleiding van personeel,
- advisering van organisaties bij de invoering van nieuwe werkprocessen en mogelijke ook bij de aanpassing van organisaties daarop,
- advisering bij de institutionele herstructurering van het werkveld voor wat betreft de eventuele herverdeling van taken en verantwoordelijkheden van de uitvoerende organisaties, met mogelijke aanpassing van wet- en regelgeving.

Vroeger waren projecten voor capaciteitsontwikkeling van het ITC in hoofdzaak gericht op het versterken van organisaties die geo-informatie inwonnen en verwerkten. In de vernieuwde strategie werd er ook een stevig accent gelegd op de versterking van universiteiten. Het doel daarvan was om hun staf in staat te stellen om academische opleidingen te ontwikkelen en te verzorgen op het gebied van de moderne Geo-ICT. In dit werkveld verschoof de aandacht snel van de traditionele gestandaardiseerde productielijnen naar de levering van GI-producten en -diensten met een hoog innovatief en wetenschappelijk karakter. Voor de verzorging van de gemeenschappelijke onderwijsprogramma's als bedoeld onder a) werd daartoe een internationaal netwerk ontwikkeld met universiteiten, zoals weergegeven in *Fig. 30.* Dit was heel effectief, zoals blijkt uit bijvoorbeeld het ITC-jaarverslag over 2007. De totale doorstroom

van studenten door de onderwijsprogramma's en korte cursussen bedroeg voorheen gemiddeld zo'n 250 per jaar. Dat aantal groeide gestaag onder de vernieuwde strategie; in 2007 bedroeg het ca 680 studenten. De helft daarvan werd opgeleid via de gemeenschappelijke programma's in dit netwerk.

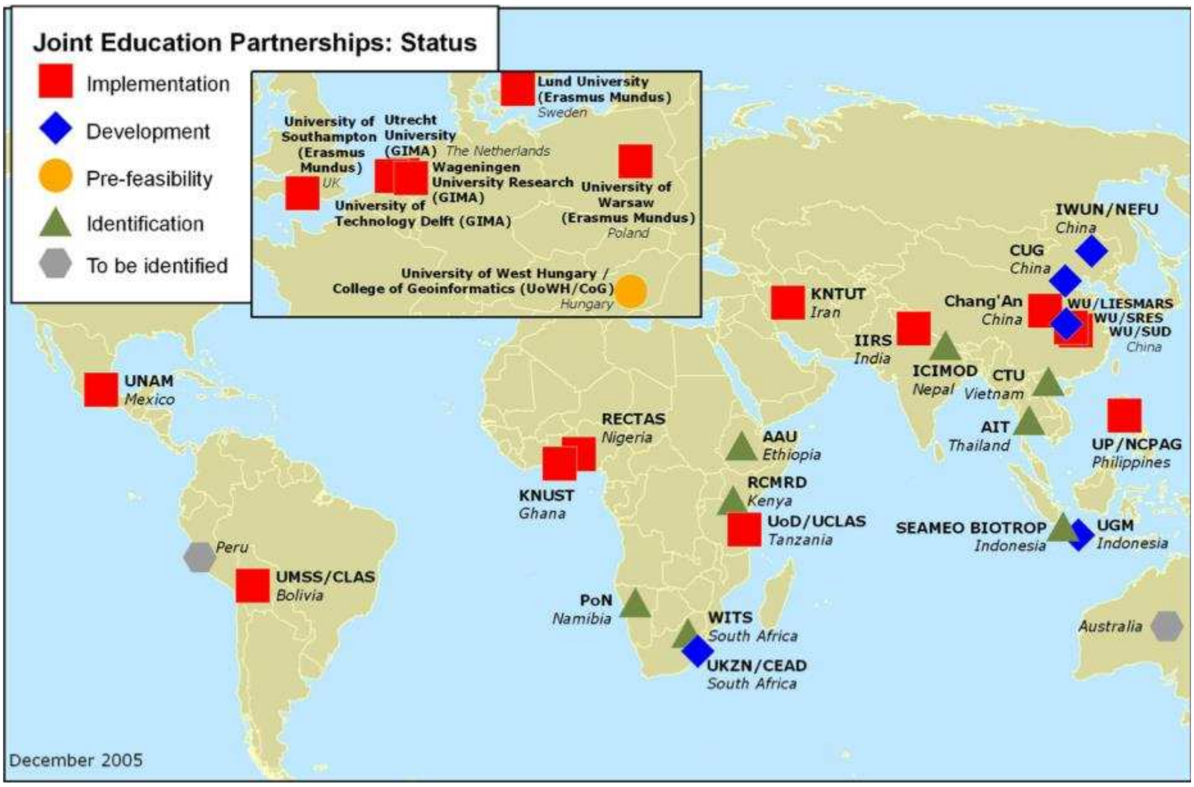


Fig. 30: Het internationale academische netwerk van ITC rond 2007

14.3 Inbedding in het Nederlandse universitaire stelsel

Vanaf de oprichting in 1950 heeft men op het ITC-onderwijs ontwikkeld om professionals, die al enige jaren werkervaring hadden, bij te scholen in moderne karteringstechnieken. Het ging bij het ITC toen vooral om zogenaamde "mid-career professionals" uit ontwikkelingslanden. Daarbij lag de nadruk in eerste instantie op de toepassing van de fotogrammetrie, die toen nog volop in ontwikkeling was. Al vrij snel werden daar ook cursussen op het gebied van de luchtfoto-interpretatie aan toegevoegd. Dit onderwijs was vrij direct toegesneden op de behoefte van de cursisten. Toen de groepen deelnemers groter werden, heeft men het onderwijs gestructureerd in programma's met een vaste opbouw. Deze werden opgezet op drie niveaus, voor:

1) technische operators die karteerinstrumenten bedienden,
2) personeel dat de leiding had over de uitvoering van karteringsprojecten,
3) personeel dat wetenschappelijke kennis van karteertechnieken en methodes moest hebben om die verder te kunnen ontwikkelen.

Deze cursussen leidden oorspronkelijk echter niet tot officieel erkende academische graden onder de toen geldende "Wet op het Hoger onderwijs en Wetenschappelijk onderzoek" (WHW). Dat bleek echter wel mogelijk nadat in 1966 een aantal institutionele aanpassingen waren doorgevoerd, waarbij werd voorzien in zowel bestuurlijke als academische betrokkenheid van meerdere universiteiten. Voor de staf werd daarna een academisch rangenstelsel ingevoerd met hoogleraren aan de top (Disco, 2010). Met die aanpassingen kon

aan de wetenschappelijke opleiding ad 3) een binnen de wet erkende MSc-graad toegekend worden. Het ITC had daarmee een academische status verworven, echter zonder het recht om de wetenschappelijke doctorsgraad te verlenen, dus zonder het Ius Promovendi. Studenten die de cursussen onder de punten 1) en 2) voltooiden, kregen een diploma, maar geen graad. Deze diploma's behoefden geen wettelijke erkenning.

Deze situatie werd lange tijd bevredigend gevonden, maar bij mijn aantreden als rector was dat veranderd. Na de verklaring van Bologna was het veld van het hoger onderwijs sterk in beweging en dat werd nog versterkt door de toen actuele onderhandelingen over GATS, het *General Agreement on Trades in Services.* De diensten die onder deze overeenkomst vielen, omvatten ook het onderwijs. Deze overeenkomsten leidden nu tot belangrijke voorwaarden:

a) Voor het onderwijs hielden die in dat men cursussen, die internationaal werden aangeboden, moest kunnen vergelijken wat betreft niveau en kwaliteit.
b) Een van de algemene regels van WTO was dat internationale handel gebaseerd is op vrij toegankelijke markten voor goederen, kapitaal en diensten en dat die handel op een "level playing field" moest plaatsvinden. Dat laatste hield in dat overheden betrokken partijen niet mochten bevoordelen door bijvoorbeeld structurele financiering.

Wat betreft de eerste voorwaarde werd het niveau van het geleverde onderwijs uitgedrukt op basis van de verleende graden BSc, MSc en PhD (Dr.). In Nederland werd daarom in 2005 de Nederlands Vlaamse Accreditatie Organisatie (NVAO) opgericht, die garant moest staan voor de geldigheid, en ook de kwaliteit, van de door Nederlandse en Vlaamse instellingen verleende graden. Onderwijsinstellingen moesten hun onderwijs periodiek laten visiteren en beoordelen door commissies die door NVAO werden erkend. Op basis van die visitaties stelde NVAO de geldigheid van de verleende graden vast; en daarnaast werd in de visitatierapporten ook een oordeel gegeven over de kwaliteit van het geleverde onderwijs.

De tweede voorwaarde betekende dat voor onderwijsinstellingen die internationaal onderwijs aanboden, en dus ook voor de SAIL-instellingen, dat die niet structureel door de overheid gesubsidieerd mochten worden. Dit onderwijs moest op zijn minst zelffinancierend zijn dus moesten de inkomsten minimaal de kosten dekken. De internationale onderwijsactiviteiten van de SAIL-instellingen kwamen bovendien onder een vergrootglas toen in 2001 de HBO-fraude aan het licht kwam. Er speelden verschillende zaken, maar voor het Internationaal Onderwijs (IO) was vooral het feit van belang dat sommige HBO-instellingen met publiek geld private dependances in het buitenland opzetten en zo extra inkomsten genereerden. Er werd een parlementaire onderzoekscommissie ingesteld onder voorzitterschap van Gert Schutte. Deze kwam in 2005 met bevindingen en aanbevelingen die leidden tot verscherpte regels voor buitenlandse activiteiten. De SAIL-instellingen kwamen daardoor klem te zitten tussen de regels van OCW en het beleid van OS.

Dit alles speelde terwijl in vele landen waar instellingen van hoger onderwijs ondertussen stonden te trappelen om de internationale markt op te gaan, daar zagen ze kans voor een bredere toestroom van studenten en extra inkomsten. Bovendien veronderstelde men dat internationalisering een positief effect zou hebben op de kwaliteit van het onderwijs. Nationale economieën verwachtten daarbij een versterking door de toestroom van internationale kenniswerkers.

Het speelveld van deze vijf SAIL-instellingen zou nu dus snel en grondig veranderen. Gezien de ontwikkelingen ad voorwaarde a) was te voorzien dat ze nu concurrentie konden verwachten

op wat ze lange tijd als hun specifieke eigen markt hadden beschouwd. Deze instellingen moesten zich nu dus tegenover nieuwe concurrenten waarmaken; en daartoe moesten ze de waarde van de verleende graden bewijzen en aantonen dat ze onderwijs van hoge kwaliteit leverden. Daarenboven moesten ze aantonen dat ze als academische instellingen ook onderzoek op hoogwaardig niveau bedreven. Al deze overwegingen leefden ook bij het ministerie van OCW, daarom nam het in beleidsnota's over internationalisering van het hoger onderwijs de wens op, dat de SAIL-instellingen zouden integreren in het Nederlandse universitaire bestel. Die integratie betrof zowel academische als institutionele aspecten.

Het overleg over deze integratie werd via SAIL gevoerd. Niet lang na mijn aantreden als rector van het ITC werd ik voorzitter van SAIL, als opvolger van Hans Opschoor, toen rector van het ISS. Hij introduceerde mij bij de contactpersonen bij OCW en OS, en bij een aantal andere organisaties, omdat ik voortaan de gesprekspartner namens SAIL zou zijn in het te voeren overleg. Daarin werden afspraken gemaakt over de bij het integratieproces te volgen procedures en over de condities en garantstellingen die daarbij zouden gelden. Daarbij zouden de kaders gesteld worden waarbinnen de individuele instellingen dan overleg zouden voeren met de universitaire partners waarmee ze een relatie zouden aangaan. Als voorzitter van SAIL werd ik bijgestaan door de secretaris Riekele Bijleveld. Als echtgenoot van een bekende Haagse politica had hij een goed inzicht in de wijze waarop de Haagse machinerie werkte; en dat zou in het integratieproces van groot belang blijken te zijn.

Terzijde
Naast het feit dat ITC de grootste was van de vijf SAIL-instellingen en ik het daarom als een soort plicht zag om dit voorzitterschap op me te nemen, was er ook nog het feit dat deze rol me een goede gelegenheid gaf om het in het verre Enschede gevestigde ITC bij allerlei partijen in Den Haag op de kaart te houden. Daarnaast had ik nog een reden die ik nooit openlijk heb uitgesproken. OCW financierde deze instellingen uit een fonds van ca 40 miljoen Euro, dit waren gelden die onder de "Harmonisatie Gelden Internationale Samenwerking" (HGIS) vielen. Die gelden besteedden de verschillende ministeries in het kader van het door OS vastgestelde beleid. Nu stond het volume van deze middelen al enige tijd onder druk vanwege de veranderende "Haagse" houding tegenover ontwikkelingshulp. De subsidie voor ITC bedroeg bovendien ongeveer de helft van het totale OCW-budget voor de SAIL-instellingen. Collega's van andere instellingen lieten soms merken dat ze in gesprekken met OCW deze verdeling eigenlijk wel ter discussie wilden stellen, hetgeen voor ITC alleen maar ongunstig kon uitpakken. Als voorzitter van SAIL had ik een grote invloed op de agenda voor het overleg met OCW. Daardoor kon ik bewerkstelligen dat deze budgetten kwa omvang en verdeling voorlopig niet op de agenda zouden staan bij de discussies over het integratieproces, teneinde te voorkomen dat die discussie daarmee onnodig verzwaard zou worden. Dat heeft gewerkt, want in de loop van het proces zijn de budgetten gehandhaafd en ook daarna nog voor langere tijd gewaarborgd.

De intensivering van de samenwerking met universiteiten

Met de kwaliteitsslagen die het ITC op het gebied van onderwijs en onderzoek had gemaakt, werd het al langere tijd als een volwaardig academisch instituut gezien door universitaire instellingen wereldwijd. Vanaf de aanpassingen van 1966 was een aantal universiteiten vertegenwoordigd in het stichtingsbestuur van ITC. Daarnaast maakten verschillende collega's van die universiteiten deel uit van de wetenschappelijke adviesraad. Deze raad gaf, soms

bindend, advies over de opzet van onderwijsprogramma's en over het onderzoek. Bovendien waren bij de eindbeoordeling van MSc-scripties altijd externe collega's betrokken. Ik had na mijn aantreden verordend dat zittende hoogleraren, in overleg met collega's binnen hun disciplines, moesten streven naar een zogenaamde nul-aanstelling bij een Nederlandse universiteit. Dat hield in dat ze niet bij die universiteit in dienst hoefden te treden, maar daar wel het "ius promovendi" zouden krijgen. Voor nieuw aan te stellen hoogleraren gold dat voortaan als voorwaarde bij hun benoeming. Die regeling hield in dat hoogleraren van het ITC zelf als promotor konden optreden, zij het bij de universiteit waar ze hun nul-aanstelling hadden maar nog niet bij het ITC zelf.

Het ITC had binnen haar domein over de jaren een zeer goede naam verworven en was een gewilde partner voor academische samenwerking. Dat betrof niet alleen instellingen in onze doellanden, zoals aangegeven in het kaartje van *Fig. 30,* maar ook universiteiten in Nederland en verder in Europa, zoals in datzelfde kaartje is aangegeven. In Nederland werd met de universiteiten van Delft, Utrecht en Wageningen het gezamenlijke MSc-programma "*Geographical Information Management and Application" (*GIMA) ontwikkeld en verzorgd. In Europa werden onder EU-regelingen met verschillende groepen van universiteiten gezamenlijke MSc-programma's ontwikkeld op het gebied van natuurbeheer, landadministratie en cartografie. Het universitaire onderzoek was sinds de '90er jaren georganiseerd in onderzoekscholen, waarin onderzoekers uit verschillende disciplines op gezamenlijke thema's onderzoeksprogramma's opzetten en daarin multidisciplinair samenwerkten. In die onderzoekscholen werd ook samenwerking gezocht tussen universiteiten onderling en met andere instellingen voor onderzoek. ITC-hoogleraren werden veelvuldig uitgenodigd om daarin mee te doen. De academische statuur van het ITC was daarmee in binnen- en buitenland tot ver buiten Europa bevestigd.

De invoering van de BaMa-structuur

De Bologna verklaring van 1999 en GATS leidden tot grote veranderingen in het internationale speelveld voor het hoger onderwijs. Het Ministerie van OCW werd daardoor genoodzaakt de WHW grondig aan te passen. Daarbij speelden complicerende zaken mee; om een paar belangrijke te noemen:

- Met de invoering van de BaMa-structuur dachten hogescholen dat daar een kans lag om een academische status te verwerven, vergelijkbaar met die van de universiteiten.
- GATS bood buitenlandse instellingen de mogelijkheid om op de Nederlandse markt opleidingen aan te bieden voor universitaire graden op basis van het BaMa-model.
- Voor dergelijke opleidingen zouden dan vergelijkbare financiële condities moeten gelden als voor de Nederlandse universiteiten.

OCW wilde de wet nu zo aanpassen dat alleen de universiteiten het recht kregen om BSc- en MSc-graden te verlenen. Hogescholen zouden dan wel Bachelorgraden en eventueel Mastergraden kunnen verlenen, maar zonder de toevoeging "Sc", hetgeen de hogescholen als een lagere status zagen. Zij voerden al enige tijd een emancipatiestrijd ten opzichte van de universiteiten. Verder moesten in de wet voorzieningen komen, zodat buitenlandse aanbieders van onderwijs niet het recht konden opeisen om op vergelijkbare wijze gefinancierd te worden als de nationale universiteiten.

De voorgestelde wetswijzigingen zijn in eerste instantie in 2001 door de Tweede Kamer geaccepteerd. Maar bij nadere beschouwing bleek dat er nog enkele omissies inzaten. De

belangrijkste voor SAIL was daarbij het ontbreken van een regeling voor de inbedding van het Internationaal Onderwijs (IO) in het nieuwe systeem. Als voorzitter van SAIL heb ik toen haastig met de andere SAIL-instellingen een lobby georganiseerd bij de leden van de Eerste Kamer. Daarmee kregen we gedaan dat de toenmalige minister Hermans een toezegging deed om in een aanpassingswet ook voorzieningen te treffen voor de overgang van de IO-instellingen naar het nieuwe stelsel. De afwerking van deze aanpassingswet werd echter sterk vertraagd, zodat die pas in 2004 in de Tweede Kamer zou worden behandeld. Vanwege de discussie die daarbij in de Kamer ontstond, besloot de toenmalige staatssecretaris Mw Nijs om alle nieuwe regelgeving t.a.v. de graadverlening uit die aanpassingswet te halen. Die regelgeving zou later in de Kamer behandeld worden bij de discussie over het "Hoger Onderwijs- en Onderzoeksplan" voor 2004 (HOOP-2004).

Op een gegeven moment werd ik, als voorzitter van SAIL, gebeld door een medewerker van OCW met de boodschap dat in dit verband ook de overgangsregeling voor het IO uit de aanpassingswet zou worden geschrapt. Als alternatief werden twee opties geboden die beide zeer ongunstig voor ons waren. De vraag was of ik de volgende ochtend kon doorgeven voor welke van deze twee opties SAIL zou kiezen. Ik stond op het punt om de volgende dag op reis te gaan naar Guatemala en Mexico, maar besloot toen direct om die reis af te zeggen. De SAIL-instellingen hebben toen gecoördineerd, maar ieder via hun eigen kanalen acties ondernomen om bij het Ministerie uit te zoeken wat er aan de hand was, en om aan Mw. Nijs duidelijk te maken dat deze gang van zaken zeer schadelijk was voor het IO. Daarnaast ondernamen we acties om bij verschillende partijen in de Tweede Kamer steun te krijgen voor ons standpunt, nl. dat de regeling zoals oorspronkelijk voorzien de aanpassingswet gehandhaafd moest blijven. Deze acties hadden succes. In mijn eerste jaren als rector van ITC, en als voorzitter van SAIL, had ik een goede verstandhouding opgebouwd met de Directeur Generaal Hoger Onderwijs van OC&W, de heer Jan Vrolijk. Ik meldde hem dat we met woordvoerders van partijen in de Tweede Kamer vragen gingen voorbereiden. Snel daarna liet hij mij in een telefoongesprek weten dat het in de aanpassingswet voorziene overgangsrecht voor het IO verder niet ter discussie stond en dat de voorgestelde wetsartikelen daaromtrent gehandhaafd bleven. Dat ging om een technische overgangsregeling die zou gelden tot 01-01-2008. Er zou later een discussie volgen over nieuwe regelgeving voor de toekomstige gradenstructuur in het Hoger Onderwijs, dus voor de periode na 2008. Daarbij zou dan ook de positie van de IO-instellingen voor de toekomst geregeld worden. Daarmee waren we als SAIL voorlopig tevreden.

Het bovenstaande heb ik wat uitgebreid beschreven omdat het daarbij ging om een cruciaal moment in het voortbestaan van de IO-instellingen. Als dit fout was gegaan, dan had dat hun einde betekend. Na deze episode hebben we als SAIL overlegd met OCW en NVAO over de te volgen procedures voor de accreditatie van de door de SAIL-instellingen verzorgde MSc-opleidingen; deze instellingen verzorgden geen onderwijs op BSc-niveau. Hoewel deze instellingen actief waren in onderling totaal verschillende academische domeinen, mochten ze toch in één gezamenlijk proces hun onderwijs laten visiteren. Daarbij werd ook een eerste proef genomen om te toetsen op het gezamenlijke kenmerk "internationaal onderwijs". Dat proces is succesvol verlopen, waarop de NVAO de opleidingen accrediteerde en ze opnam in het "Centraal Register Opleidingen Hoger Onderwijs" (CROHO). In **14.3** zijn cursussen op drie niveaus beschreven. Voor het ITC werd de cursus op het niveau 2) geaccrediteerd als een HBO-master. Op niveau 3) had tot nu toe iedere wetenschappelijke afdeling eigen MSc-cursussen

verzorgd. Deze werden nu op instituutsniveau samengevoegd tot één programma, dat als een WO-master (MSc) werd geaccrediteerd. Beide programma's, zowel op het niveau van de HBO-master als de WO-master, voerden de naam "Geo-information Science and Earth Observation". (Voor een korte toelichting op de academische taken van het ITC zie Annex 6).

14.4 De bestuurlijke integratie in de Universiteit Twente

Het ITC had nu zijn academische status zeker waargemaakt, maar daarmee was voor OCW de kous nog niet af. In het kader van de ontwikkelingen rond GATS waren binnen de EU-spelregels ingevoerd die het overheden niet langer toestonden om private organisaties structureel te financieren. Dat betekende voor de SAIL-instellingen, die allemaal de rechtspersoon van een stichting hadden, dat hun basissubsidie in de bestaande vorm moest worden afgebouwd. Er moest dus een andere vorm voor gevonden worden. Bovendien wilde OCW af van de bestaande begrotingsparagraaf betreffende het IO, op dit onderwerp voerde het ministerie geen eigen beleid. Men wilde de SAIL-instellingen echter niet opheffen, zij vormden een belangrijke bijdrage van OCW in het kader van HGIS. Ze moesten daarom ieder een bestuurlijke samenwerkingsvorm met een universiteit regelen, zodat de fondsen via de begroting daarvan konden worden toegekend.

Universiteit Twente wordt penvoerder van het ITC

Al in de termijn van mijn directe voorganger Karl Harmsen en de toenmalige conrector Niek Rengers, had OCW anticiperend op deze ontwikkelingen, druk uitgeoefend op de SAIL-instellingen om aansluiting te vinden bij een universiteit. Na een verkenningsronde langs de universiteiten van Delft, Wageningen, Utrecht en Twente werd gekozen voor de laatste. Dat was op zich niet verwonderlijk want Prof. Frans van Vught, Rector Magnificus van deze universiteit, was ook voorzitter van het stichtingsbestuur van het ITC en beide instellingen waren gevestigd in Enschede. Bij mijn aantreden als rector kwam nu gelijk de vraag op, welke relatie de twee instellingen zouden aangaan. Van Vught was toen naast Rector Magnificus ook net voorzitter geworden van het College van Bestuur (CvB) van de UT. Hij wilde het ITC integreren in de universiteit, maar daar was ik het niet mee eens. Het was verre van duidelijk welke status het ITC binnen de UT zou krijgen en wat de meerwaarde van volledige integratie zou zijn voor beide instellingen. Ik wilde de autonomie van het ITC waarborgen omdat haar missie totaal verschillend was van die van een universiteit. Ik kwam daarmee als rector van het ITC tegenover de voorzitter van mijn stichtingsbestuur te staan, een voorzitter met de twee petten van de organisaties die hier tegenover elkaar stonden. Zo konden de belangen van het ITC niet goed behartigd worden. Daarom besloot het stichtingsbestuur tot een ingreep waarbij Van Vught in deze onderhandelingen als vertegenwoordiger van de UT zou optreden en dat het stichtingsbestuur door twee leden vertegenwoordigd zou worden. Dat waren de heren Jaap Besemer, toen voorzitter van de Raad van Bestuur van het Kadaster, en Ton Heddema, toen zelfstandig consultant betrokken bij de uitvoering van grote publieke werken. Zij zouden in overleg met mij als rector de positie van het ITC behartigen.

Wij drieën waren het er onderling over eens dat een lichte administratieve relatie met de UT wenselijk was, waarbij het ITC een zo groot mogelijke autonomie zou behouden om haar missie als IO-instelling binnen het OS-beleid te kunnen voortzetten. Dit was tegen de wens van Van Vught, die zette dan ook regelmatig druk op mij om daarin verder te gaan, echter nog steeds zonder daarbij aan te geven wat de strategische voordelen voor beide instellingen zouden zijn. Omdat OCW in haar aanwijzing niet erg concreet was geweest, stelde ik voor dat ik Jan

Vrolijk als DG Hoger Onderwijs zou uitnodigen om uit te leggen wat OCW nu verwachtte. Hij had mij in een onderling gesprek al eens laten weten dat het niet de bedoeling was "dat de IO-instellingen onder het juk van de universiteiten zouden doorgaan". Er werd een gesprek georganiseerd op het ITC, waar hij in bijzijn van Ton Heddema, Jaap Besemer, twee leden van het CvB van de UT en mijzelf zou toelichten wat hij verwachtte. Hij sloot zich daarin aan bij de ITC-positie, wat inhield dat het om een lichte administratieve relatie zou moeten gaan. Dat gesprek ging als volgt:

MM: Zou je wat preciezer kunnen uitleggen hoe je zo'n relatie ziet?

JV: Nou het zou mooi zijn als je een soort penvoerdersrelatie aanging.

MM: Wat is dat?

JV: Het zou nog mooier zijn als jullie dat voor mij uitvonden.

Welnu, dat hebben we ook gedaan. Gedrieën hebben de heren Heddema, Besemer en ik een concept-penvoerdersovereenkomst ontworpen. Die werd na enig onderhandelen geaccepteerd door zowel de UT als OCW. De overeenkomst hield in dat de UT naar het ministerie zou optreden als penvoerder betreffende de begroting en jaarrekening van het ITC, en dat de jaarrekening van het ITC werd geconsolideerd in die van de UT. Dit alles onder de voorwaarde dat de UT de ontvangen financiële middelen onverwijld en onverkort naar het ITC zou overmaken. Deze penvoerdersovereenkomst is daarna door de andere SAIL-instellingen gebruikt als voorbeeld voor de afspraken die zij met hun partner-universiteiten maakten om tot een vergelijkbare regeling te komen[40]. Optisch werden de subsidies voor het IO daarmee onderdeel van het begrotingshoofdstuk "Hoger Onderwijs". Daarmee kon de aparte paragraaf voor het IO uit de begroting van OCW verdwijnen.

Het ITC bleef voortbestaan als zelfstandige stichting, maar nu dan gefinancierd via de UT. Het ITC hield haar bestuurlijke autonomie en missie, maar het oorspronkelijke stichtingsbestuur werd opgeheven; voortaan trad de rector op als bestuurder van de stichting. Hij legde als bestuurder verantwoording af aan een raad van toezicht, die onder andere de bevoegdheid had de rector te benoemen en te ontslaan.

ITC wordt de zesde faculteit van de Universiteit Twente

Met deze regeling was de kou voorlopig uit de lucht, maar het werd al snel duidelijk dat de kous hiermee nòg niet af was. Van Vught was geen lid van de nieuw ingestelde Raad van Toezicht van het ITC, want de penvoerdersovereenkomst had leden van het CvB-UT daarvan uitgesloten. Deze overeenkomst had hij door omstandigheden, in wezen contrecoeur, geaccepteerd en al snel maakte hij als penvoerder duidelijk dat hij verder wilde gaan. Zoals hierboven al werd aangegeven leek de nadruk te veel te liggen op het binnenhalen van het ITC in de UT. In financiële zin zou dit zeer aantrekkelijk zijn voor de UT met als neveneffect dat het binnenhalen van het ITC het bestuurlijk profiel van Van Vught zou versterken. Maar nergens werd er gesproken over de positie die het ITC binnen de UT zou krijgen, noch over de verdere wederzijdse voordelen. Wegens de toon van de gesprekken ben ik toen op de rem gaan staan. Het was bekend dat in 2005 de bestuurstermijn van Van Vught afliep, hij zou opgevolgd worden door een nieuwe voorzitter van het CvB en een nieuwe Rector Magnificus. Het leek me beter om te wachten op deze nieuwe gespreksgenoten.

[40] Alleen het IHE in Delft vond een andere oplossing. Het werd een UNESCO-instituut, direct onder UNESCO in Parijs.

Op onze vele reizen naar het buitenland merkte Sjaak Beerens en ik wel dat er bij onze partners aldaar onduidelijkheid heerste over de formele academisch status van het ITC. Studenten konden er een MSc-graad behalen, maar het was geen universiteit. Kandidaten konden een PhD-programma volgen, maar de doctorsgraad kon het ITC niet verlenen, want promotie vond plaats aan een universiteit. Verder hadden de hoogleraren en staf van het ITC geen toegang tot onderzoekssubsidies van NWO en STW en een aantal Europese fondsen. Dit alles zou opgelost worden als het ITC een universitaire status verwierf en dat kon alleen als het onderdeel werd van een universiteit. Naast deze overwegingen werd het hele vraagstuk ook aan de orde gesteld in een beleidsstuk van OCW in november 2005[41]. In hoofdstuk 3 over de financiering van het hoger onderwijs, stond een uitgebreide paragraaf (3.3) over de de financiering van het IO. In dat stuk werd gesteld dat met het aangaan van het penvoerderschap een belangrijk vraagstuk nog niet was opgelost: De IO-instellingen hadden nog steeds de vorm van een private rechtspersoon, hetgeen inhield dat er ook via het penvoerderschap nog steeds publiek geld naar private instellingen vloeide. Om dit vraagstuk op te lossen, werd een aantal alternatieve financieringsvormen voorgesteld. Geen van deze voorstellen was aantrekkelijk voor het ITC. Al deze overwegingen, zowel de inhoudelijke als de beleidsmatige, gaven gezamenlijk de doorslag om de verdere integratie van het ITC in de UT voor te bereiden.

Ondertussen had in 2005 de bestuurswisseling aan de UT plaatsgevonden, met de nieuwe gesprekspartners kon het overleg opnieuw, en op een andere toon, gevoerd worden. Dr. Anne Flierman was nu voorzitter van het CvB en met hem heb ik afgesproken dat wij samen zouden verkennen hoe verder te gaan met de integratie. Wij zouden ons richten op de bestuurlijke aspecten. Ik liet me daar in bijstaan door Erna Leurink, hoofd personeelszaken van het ITC, en door Riekele Bijleveld, secretaris van SAIL. Sjaak Beerens zou parallel aan dit overleg gesprekken voeren met vertegenwoordigers van de UT over de mogelijke organisatorische gevolgen van de integratie.

In het bestuurlijk overleg hebben we eerst een aantal uitgangspunten vastgelegd, onder meer dat het onze intentie was "*om te komen tot een bestuurlijke en inhoudelijke inbedding van het ITC in de UT*". Daarbij werd een groot aantal randvoorwaarden geformuleerd voor een dergelijke integratie. Dit alles werd vastgelegd in een gezamenlijke intentieverklaring, (zie Annex 6), die door ons werd ondertekend op 28-09-2006 op het gemeentehuis van Enschede in aanwezigheid van de burgemeester een aantal genodigden.

Er stond geen al te grote tijdsdruk op het integratieproces, maar OCW had wel duidelijk gemaakt dat het voortgang wilde zien. Voor het ITC zou het een grote stap zijn om haar zelfstandige positie op te geven en onderdeel te worden van de universiteit; daarom wilde ik dat we genoeg tijd namen om uit te zoeken wat de beste vorm van integratie zou zijn. Bovendien wilde ik tijd hebben om zowel intern in de organisatie, als extern in ons netwerk uit te leggen wat er stond te gebeuren en waarom. Het moest vooral duidelijk zijn wat de mogelijke gevolgen zouden zijn voor onze medewerkers en voor de partners in ons netwerk.

Na ampele overwegingen hebben we ervoor gekozen om het ITC als een nieuwe, zesde, faculteit in te bedden in de UT. Daarmee kreeg het ITC definitief de bevoegdheid om de gangbare universitaire BSc-, MSc- en Doctorsgraden toe te kennen. Dus nu kregen de

---

[41] Beleidsbrief OCW: "*Acties vanwege de beleidsbrief Meer flexibiliteit, meer keuzevrijheid, meer kwaliteit*" van 29 oktober 2004, paragraaf 3.3, versie van 24 november 2005

hoogleraren van het ITC ook het reeds zolang gewenste Ius Promovendi. Het zou echter geen gewone faculteit zijn omdat het nog geen onderwijs op BSc-niveau verzorgde. Het ging hier vooral om de uitvoering van de traditionele ITC-taken in het kader van internationaal onderwijs als onderdeel van het beleid van OS. Door dat laatste was de financiering van deze faculteit afwijkend van de andere faculteiten. Het ITC kreeg daarom een aparte status als "faculteit sui generis". In 2009 werden de onderhandelingen afgerond. De overgang van het ITC zou per 01-01-2010 een feit zijn[42]. Dat was het moment dat ik terugtrad als rector en dat mijn opvolger Tom Veldkamp het roer overnam, maar nu als Decaan van de faculteit ITC.

Fig. 31: ITC wordt Faculteit van de Universiteit Twente

Tijdens de plechtigheid van deze wissel tekende ik, als een van mijn laatste bestuurlijke daden, met Anne Flierman de overeenkomst waarin tot de integratie van het ITC en in de UT werd besloten, zie *Fig. 31.* Een paar dagen later werd de overdrachtsacte ten overstaan van een notaris getekend.

14.5 *".... dan stop ik er nu mee!"*

Per 1 januari 2010 liep mijn tweede termijn als rector af, op datzelfde moment werd ITC formeel onderdeel van de UT; en daarmee kregen alle ITC-medewerkers een nieuwe werkgever. De lange naam van het ITC veranderde nog een keer, doordat daarin de term "International Institute" werd vervangen door "Faculty". Ik werd als hoogleraar weer toegevoegd aan een vakgroep, tot aan mijn pensionering in 2014. Daarbij bleek me al snel dat tijdens de negen jaar van mijn rectoraat het onderzoek van de medewerkers zich op nieuwe thema's had gericht. Het viel niet mee om op korte termijn daar nog aansluiting bij te vinden.

---

[42] De formele situatie was als volgt: het ITC viel als instituut onder een stichting. De stichting droeg het instituut over aan de UT, waarbij het de nieuwe zesde faculteit vormde. De stichting kreeg nieuwe statuten en zou voortaan als ITC-Foundation eigen middelen beheren, waaruit men beurzen kon verstrekken aan studenten en PhD-kandidaten en bijzondere projecten van het ITC kon ondersteunen. Bovendien had de Foundation nog een instemmingsrecht voor het geval dat de UT zou besluiten om de bestemming van de ITC-gebouwen te wijzigen of om deze te verkopen. Dat instemmingsrecht liep tot en met 2020.

Ik gaf nog wel onderwijs over mijn vroegere onderwerpen; en ik begeleidde nog twee laatste PhD-kandidaten en een paar MSc-studenten.

> ***Terzijde:***
> *Door het onderwerp van een van de MSc-studenten moest ik me verdiepen in de wonderlijke koloniale geschiedenis van Afrika. Hij was medewerker van de topografische dienst van Malawi en had de taak om, met collega's uit de buurlanden, tot een definitieve regeling te komen ten aanzien van de grenzen tussen de landen. Daarvoor moest hij de overeenkomsten bestuderen tussen de vroegere koloniale machten, die deze landen destijds in bezit hadden genomen. Die geschiedenis greep terug op de Conferentie van Berlijn, waar Europese mogendheden onder voorzitterschap van Von Bismarck onderling Afrika verdeelden. Daarbij werd de Afrikanen niets gevraagd, er was zelfs geen Afrikaan op de conferentie aanwezig. Na de globale verdeling sloten Duitsland en het Verenigd Koninkrijk apart de zogenaamde "Zanzibar-Helgoland overeenkomst", waarin ze de grenzen tussen de aan hen toegewezen gebieden nader specificeerden en ook nog Helgoland tegen Zanzibar ruilden. Bekeken door de ogen van nu is dit een bizar verhaal. Waar GI-wetenschappen je al niet mee in aanraking kunnen brengen.*

Naast mijn laatste academische taken was er tijd voor wat neventaken. Een van die neventaken die toen nogal wat aandacht vroeg, was de in **12.2** beschreven omvorming van de NCG van een KNAW-commissie tot een stichting. Daarnaast werd ik als afzwaaiend wetenschapper nog gevraagd voor allerlei commissies, onder andere voor NWO, het Ministerie van Buitenlandse Zaken en het Nederlandse Space Office. Dat commissiewerk liep ook door na mijn pensionering. Op een gegeven moment, ik was al 70, trad ik op als voorzitter van een commissie die opnieuw was samengesteld. We deden een voorstelrondje om de nieuwe leden te leren kennen. Een vrouw van ca 50 jaar oud noemde haar naam:

Ik: Die naam klinkt als die van een dispuutgenoot in Delft, wat is de voornaam van je vader?
Zij: Hij is overleden, maar hij heette Henk en studeerde civiele techniek.
Ik: Maar dan waren wij inderdaad dispuutgenoten. Mag ik vragen hoe oud je bent?
Zij noemde haar leeftijd.
Ik: Als ik nu terugreken dan ben je geboren toen ik nog studeerde en heb ik met een paar vrienden samen met je vader een Oude Bokma gedronken bij jouw wieg.
Zij: Dat zou wel kunnen kloppen.
Ik: Dan stop ik er nu mee!

En inderdaad realiseerde ik me dat de meeste leden van de commissie tussen de 40 en 50 jaar oud waren, zo'n twintig tot dertig jaar jonger dan ik en competente professionals die hun werk eigenlijk best zonder de begeleiding van een oude man konden doen.

15 Nawoord

Nu ik bij de afronding van dit verhaal ben aangeland, leven we in 2023; en dat is 40 jaar na mijn benoeming in Wageningen. In die tussentijd zijn geo-informatie en aardobservatie volledig geïntegreerd in allerlei typen dienstverlening in onze samenleving. Het publieke gebruik van kaarten is bijna volledig vervangen door het gebruik van navigatie apps op mobiele telefoons. Overheden en het publiek hebben ruime toegang tot ruimtelijke informatie en maken daar ook volop gebruik van. In de publieke sector wordt gebruik gemaakt van gestandaardiseerde geo-informatiebestanden en 3D-stadsmodellen. Men maakt er volop

gebruik van RS-beelden en geo-informatie voor het monitoren en bijsturen van landgebruik en landbouw, voor watermanagement, voor stedelijk beheer, voor het bewaken van de kwaliteit van het milieu, het monitoren van de klimaatverandering en vele andere toepassingen.

Dit jaar nog heb ik tijdens een aantal bijeenkomsten presentaties gevolgd die een schets van de huidige stand van zaken geven. Alexander Klippel, de opvolger van mijn opvolger in Wageningen, liet tijdens zijn inaugurale rede zien hoe in virtual reality omgevingen ruimtelijk situaties geconstrueerd en gebruikt worden. Hij gaf voorbeelden van professionals uit verschillende ruimtelijke disciplines, zoals geologen en bosbeheerders in California, die daarmee getraind worden voordat ze het veld in gaan. Tijdens de viering van het tienjarig bestaan van het *SpaceTimeLab for Big Data Analytics* van mijn vroegere promovenda Cheng Tao in Londen, werden voordrachten gehouden over stedelijke dynamiek in termen van het verkeer en de mobiliteit van personen en mensenmassa's. Op een bijeenkomst van gepensioneerde geodeten dit jaar gaf Bart Beers een overzicht over recente ontwikkelingen bij het bedrijf Cyclomedia. Hij liet zien hoe de dienstverlening van het bedrijf doorgegroeid was van de productie van straatbeelden naar geavanceerde 3D stadsmodellen, met indrukwekkende voorbeelden van onder andere New York.

Kortom het gebruik van geo-informatie en RS-data heeft een enorme vlucht genomen in die 40 jaar. Nieuwe producten en vormen van dienstverlening zijn ontwikkeld en hebben hun weg naar de samenleving gevonden. De steeds snellere groei van de opslag- en processingscapaciteit in de ICT heeft dit mogelijk gemaakt. De huidige mogelijkheden gaan veel verder dan we in de jaren '80 konden vermoeden. En dat houdt ook in dat veel werkcapaciteit wordt ingezet voor de verkenning van de mogelijkheden die de nieuwe technologie biedt en voor de ontwikkeling van tools en producten om de nieuw geboden mogelijkheden te benutten. De groei van die technische mogelijkheden, en die van het gebruik van geo-informatie en aardobservatie, was de laatste decennia spectaculair, of zelfs revolutionair. Het was zelfs zo'n tien jaar geleden bij lange na niet te overzien wat dit voor de GI-sector zou betekenen. Maar dat de engere disciplinaire basis van het ITC meer zou versmelten met andere wetenschappelijke velden was wel duidelijk. En daar lag naast de invloed van de Verklaring van Bologna en GATS ook een belangrijke reden om het ITC definitief te integreren in het Nederlandse universitaire bestel. Deze integratie werd daarom de rode draad van mijn twee termijnen als rector van het ITC.

Hoe op langere termijn de toekomst eruitziet, is moeilijk te zeggen. De GI-sector zal nog lange tijd een belangrijke rol spelen in de samenleving, maar het kan ook zijn dat ze daarna langzaam verdampt en dat haar rol wordt opgenomen in de groei van nieuwe sectoren. Dit werd indertijd al zichtbaar in de voorstellen die rond 2010 werden gedaan, zoals voor het onderzoekprogramma "*Maps for Society*" van STW. Ook in het programma "*Geodata for Agriculture and Water"* (G4AW) van Buitenlandse Zaken en het Netherlands Space Office (NSO) werd dit zichtbaar. In deze programma's wordt onderzoek gedaan om de gebruiksmogelijkheden van geodata te verbreden en te verdiepen en om de uit die data afgeleide geo-informatie breed inzetbaar te maken. De opstart van die programma's kwam op het moment dat ik als pensionado mijn actieve inzet in dit veld beëindigde. Bij deze programma's was het niet per se de bedoeling om de geo-informatievoorziening als zelfstandige discipline in stand te houden, de inbedding in brede maatschappelijk sectoren stond voorop. Terugkijkend besef je dan dat de mensen van mijn generatie slechts de

voorlopers waren in ontwikkelingen, die daarna pas echt op gang zouden komen. We zochten al tastend onze weg in dit nieuwe domein, gebruikmakend van de eerste generaties GI-systemen en RS-data.

In de voorgaande hoofdstukken werd de zoektocht geschetst naar de grondslagen van ruimtelijke informatiemodellen. Die dienden om de studenten wegwijs te maken in de aard van geo-informatie, en om uit teleggen wat de basisstructuren ervan waren en wat in die modellen gerepresenteerd kon worden. Bovendien hielpen die grondslagen om inzicht te krijgen in de wijze waarop toen beschikbare systemen ontworpen waren en welke informatie ze wel of niet konden verwerken. Daarnaast gebruikten we de modellen om de inbreng van beschikbare ruimtelijke informatie in de RS-beeldanalyse te structureren. Dus de geformuleerde grondslagen hadden de bedoeling om doorzicht te geven in de aard van geo-informatie en de structuur van de mogelijke inwinnings- en verwerkingsprocessen daarvan. Ik heb de indruk dat in dat opzicht de toen geformuleerde GI-theorie, hoewel die nog verre van volledig uitontwikkeld was, toch nog steeds relevant is, niet tegenstaande de geweldige technische vooruitgang die we in de recente decennia hebben meegemaakt.

Op verschillende plekken in de tekst heb ik al uitgelegd hoe mijn opvoeding als geodeet altijd heeft doorgewerkt in mijn onderzoeksaanpak op het gebeid van de GI-theorie en de RS-beeldverwerking. Die vraag kwam onlangs nog weer eens aan de orde toen in 2022 Cheng Tao de Baarda-lecture hield, de openingsrede van een door het NCG georganiseerde studiedag voor PhD-kandidaten in Nederland. Zij vroeg me of er een relatie was tussen het werk wat zij deed en het werk van Baarda. Ik heb haar daarop per e-mail het onderstaande antwoord gestuurd:

> *It will not be easy to find a link between my PhD research and yours. By the time you did your research I had left the Delft School behind me. What was left was my interest to develop a fundamental framework as a base for finding the common structure of problems met in different application disciplines of GIS. That is what Baarda taught me, although his work was only applicable in the context of geodesy. But it brought many different issues met by practicians in the field under one conceptual framework. This fundamental approach was what we had in common and what I wanted to teach you and my other PhD students.*

Ik begon in 1967 aan mijn opleiding tot geodeet en in 2014 ging ik met pensioen. In die 47 jaren groeide ik vanuit de geodesie door naar het bredere veld van de geo-informatievoorziening en aardobservatie. De ontwikkelingslijn die ik volgde was wellicht wat anders dan die van de meeste geodeten die zich met dat domein bezighielden. Dat kwam zowel door de tijd die ik Wageningen doorbracht als door mijn tijd op het ITC. Bij beide instellingen werkte ik samen met veel collega’s uit een breed spectrum aan ruimtelijk georiënteerde disciplines. Die wilden allemaal gebruik maken van dezelfde technologie, maar ieder met hun eigen gebruikscontext. Dat vereiste een verdiept grondslagenonderzoek om de gemeenschappelijke kenmerken in zo’n grote diversiteit van gebruiksvelden te kunnen vinden. Met deze achtergrond durfde ik het ook aan de functie van Rector van het ITC te aanvaarden, zeker toen het steeds meer zichtbaar werd dat het instituut in een kritische fase van haar bestaan kwam. De uitdaging moest ik wel aannemen.

Iedereen kan zich aan het eind van een loopbaan afvragen wat de rol is geweest die men vervuld heeft: wat was de betekenis voor, en de bijdrage aan, de wetenschap of in bredere zin de samenleving. Wat alle ervaringen mij geleerd hebben is dat je meegevoerd wordt met de stroom van de geschiedenis en dat jouw bijdragen daaraan beperkt zijn en bepaald worden door de

mogelijkheden die het moment je biedt. Kortom de samenleving bepaalt, gegeven de omstandigheden, de richting van de loop van de geschiedenis. Pas achteraf kunnen we de richting en aard daarvan begrijpen, en vanuit dat inzicht kunnen we proberen die te beschrijven. Hoe dat gebeurt hangt dan weer af van het perspectief van de auteur en van zijn of haar zienswijze. Dat geldt voor de grote geschiedenis van de mensheid, maar ook voor de kleine geschiedenis van bepaalde academische of professionele ontwikkelingen. Met een parafrase van het citaat van Jan Romein in **11.3** zou je dan over de bijdragen van personen kunnen zeggen: "*enkelvoudige persoonlijke bijdragen of prestaties komen in theorie, maar niet in werkelijkheid voor*".

Fig. 32: Tabé toga

Symbolisch sloot ik deze mooie tijd af toen ik mijn toga in september 2021 schonk aan Alexander Klippel *(Fig. 32)*. Alexander trad toen aan als de opvolger van Arnold Bregt, die in Wageningen – naast Steven de Jong – een van mijn twee directe opvolgers was.

Als ik nu omzie kan ik alleen maar vaststellen dat mijn loopbaan zich ontwikkelde in een boeiende tijd, waarop ik met veel plezier terugkijk. Ik denk daarbij nog wel eens terug aan de waarschuwing van Schermerhorn; gelukkig heb ik die tijdig ter harte genomen. Zoals ik in het voorwoord van deze monografie al aangaf was het schrijven van deze monografie een soort ontdekkingsreis in mijn eigen ontwikkelingsgeschiedenis. Het was een herbeleven waarbij achteraf een aantal zaken op hun plaats vielen en waarbij hun betekenis in de context van dit totaalbeeld opeens duidelijk werd. Daarin lag voor mij het belang van het schrijven van dit verhaal, wellicht is het een "coming-of-age" verhaal geworden. Ik hoop dat anderen er op hun manier ook plezier aan beleven en er wellicht het nodige in herkennen met betrekking tot hun eigen professionele leven. Zoals in het voorgaande al een paar keer is vastgesteld, vind je als je details weglaat en je richt op hoofdlijnen, dus op basisstructuren, vaak overeenkomsten waar je ze niet zou verwachten.

En toch op het moment dat ik mijn loopbaan beëindigde, was de landmeter in mij nooit helemaal verdampt. Ergens diep van binnen zat nog een harde kern. Na mijn pensionering keek ik nog wel eens terug in de HTW'56 en in het leerboek van Schermerhorn en Van Steenis. De plaatjes van de meetconfiguraties met de beschrijvingen van de meetprocedures en de herinneringen aan de veldmetingen, riepen dan soms een zekere nostalgische stemming op. Ik heb na de veldpractica tijdens de studie nooit meer veldmetingen gedaan, en ik vermoed dat dit ook geldt voor de meeste van mijn vroegere medestudenten. Maar ergens blijft het oude gevoel van fascinatie, en ook een zeker gevoel van schoonheid, hoe we meetkundige configuraties over het landschap legden en zo werkelijkheid en abstractie met elkaar verbonden. En die verwondering is altijd gebleven, de verwondering over die koppeling tussen werkelijkheid en abstracte modellen en wat we daarmee over die werkelijkheid kunnen zeggen. Wat daar nu precies gebeurde is voor mij altijd een vraag gebleven en naar ik vermoed ben ik daarin niet de enige.

Na mijn pensionering besloot ik ook één van de belangrijkste literaire werken waarin een landmeter een hoofdrol speelt, nog eens te herlezen. Het gaat om "Het Slot" van Kafka, waarin de landmeter K. het hele boek lang probeert uit te vinden wat nu eigenlijk zijn opdracht is. Aan het einde van het verhaal zit hij te praten met de waardin van zijn herberg:

Wat ben je eigenlijk?" vraagt ze.
Landmeter".
Wat is dat?".
K.. legt het uit, ...
... de uiteenzetting deed haar geeuwen.

LITERATUUR

(Aardoom, 2012) Aardoom, L.: *Satellietgeodesie in Nederland 1960-2000.* De Hollandse Cirkel, Apeldoorn, Geodetisch-Historische Monografieën, 2012.

(Addink, 2002) Addink, E : *Change detection with remote sensing: Relating NOAA-AVHRR to environmental impact of agriculture in Europe.* WU, Wageningen, 2002.

(Alberts 2000a) Alberts, G.: *David van Dantzig, wiskundig omnivoor.* Nieuw Archief voor Wiskunde 5/1 nr. 3, september 2000, pp. 288–293.

(Alberts 2000b) Alberts, G.: *Een eeuw wiskunde en werkelijkheid – De opkomst van het wiskundig modelleren***.** KNAW 5/1 nr.1 maart 2000, pp. 59–67.

(Alberts 2000c) Alberts, G.: *Twee geesten van de wiskunde – Biografie van David van Dantzig.* CWI Publicaties Varia, Amsterdam, 2000.

(Anneveld en Molenaar, 2022) Anneveld, A. en M. molenaar: *Analoog-digitaal conversie: Beschrijving van de analoog-digitaal conversie van kaarten bij een aantal diensten en bedrijven tussen 1970 en 2005.* Geodetisch-Historische Monografieën, Nr. 7, Stichting De Hollandse Cirkel, Apeldoorn, 2022, 122 pp.
https://www.hollandsecirkel.nl/documentatiecentrum

(Baarda, 1973) Baarda, W.: *S-transformations and Criterion Matrices*. Netherlands Geodetic Commission, Publications on Geodesy, New Series, Vol. 5, No. 1, Delft 1973.

(Baarda 1977) Baarda, W.: *Mathematical Models.* OEEPE Publ. Off. No. 11, 1977, pp. 73–101.

(Bishr, 1997) Bishr, Y: *Semantic aspects of interoperable GIS*. ITC, Enschede, 1997.

(Bogaerts, 2012) Bogaerts, T.: *De loopbaan van een zondagskind.* De Hollandse Cirkel, Apeldoorn, Geodetisch-Historische Monografieën, 2012.

(Bogaerts, 2017) Bogaerts, T: *Grootschalige Topografie.* De Hollandse Cirkel, Apeldoorn, Geodetisch-Historische Monografieën, 2017.

(Bruin, 2000) Bruin, S. de: *Geographical Information modelling for Land resource Survey.* WU, Wageningen, 2000.

(Carnap, 1956) Carnap, F.: *Meaning and Necessity, a Study in Semantics and Modal Logic.* Cambridge, Cambridge University Press, 1956.

(Cheng, 1999) Cheng, T: *A Process-Oriented Data Model for Fuzzy Spatial Objects.* ITC, Enschede, 1999.

(Cheng en Molenaar, 1999a) Cheng, T. and M. Molenaar: *Objects with fuzzy spatial extent.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 65, Nr. 7, July-1999, pp. 787-801.

(Cheng en Molenaar, 1999b) Cheng, T. and M. Molenaar: *Diachronic Analysis of Fuzzy Objects.* Geoinformatica, Vol. 3, Nr. 4, December- 1999, pp. 337-355.

(Clevers, 1986) Clevers, J: *Appliction of Remote Sensing to Agricultural Field Trials.* LUW, Wageningen, 1986.

(Dantzig, 1947) Dantzig, D. van: *General procedures of empirical science.* Synthese

5(1947) pp. 441–445.

(Disco 2010) Disco, N.: *60 years of ITC - The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.* Stichting Historie der Techniek, Eindhoven (in samenwerking met ITC Foundation, Enschede), 2010, 128 p.

(Droesen, 1999) Droesen, W.: *Spatial Modelling and Monitoring of Natural Landscapes.* LUW, Wageningen, 1999.

(Epema, 1992) Epema, G.F.: *Spectral Reflectance in the Tunesian Desert.* LUW, Wageningen, 1992.

(Fritsch, 1991) Fritsch, D.: *Raumbezogene Informationssusteme und Digitale Geländemodelle.* Deutsche Geodätische Kommission, München, Reihe C, Heft Nr. 369, 1991.

(Gorte, 1998) Gorte, B.: *Probabilistic Segmentation of Remotely Sensed Images.* ITC, Enschede, 1998.

(Hoekman, 1990) Hoekman, D.H.: *Radar remote sensing Data for Apllications in Forrestry.* Proefschrift, Landbouwhogeschool, Wageningen, 1990.

(HTW '38) *Handleiding voor de Technische Werkzaamheden van het Kadaster.* Algemene Landsdrukkerij, 's Gravenhage, 1938, 110 pp.

(HTW '56) *Handleiding voor de Technische Werkzaamheden van het Kadaster.* Ministerie van Financiën, 's Gravenhage, 1956, 372 pp.

(Huising, 1993) Huising, J.: *Land Use Zones and Land Use Patterns in the Atlantic Zone of Costa Rica.* LUW, 1993, pp

(Janssen, 1994) Janssen, L.L.F.: *Methodology for Updating Terrain Object Data from Remote Sensing Data.* LUW, Wageningen, 1994.

(Kufoniyi, 1995) Kufoniyi, O.: *Spatial coincidence modelling, automated database updating and data consistency in vector GIS.* ITC, Enschede, 1995.

(Kuhn, 1979) Kuhn, T.: *De structuur van wetenschappelijke revoluties.* Boom, Meppel, 1979.

(Lakatos, 1978) Lakatos, I.: *The methodology of scientific research programmes.* Philosophical papers Volume 1, Worral and Currie eds., Cambridge Unversity Press, Canbridge, 1978.

(Leeuwen, 1996) Leeuwen, H. van : *Methodology for combining optical and microwave remote sensing in agricultural crop monitoring.* LUW, Wageningen,1996, 251 p.

(Liu, 2002) Liu, Y.: *Categorical Database Generalization in GIS.* ITC, Enschede, 2002.

(Molenaar, 1972) Molenaar, M.: *Een analyse van het gebruik van Doppler Satellieten in een meetopzet met simultane waarnemingen.* Afdeling Geodesie TUD, R84, Delft, 1972.

(Molenaar, 1981) Molenaar, M.: *A Further Inquiry into the Theory of S–Transformations and Criterion Matrices.* Netherlands Geodetic Commission, Publications on Geodesy, New Series, Vol. 7, No. 1, Delft, 1981.

(Molenaar, 1985) Molenaar, M.: *Je Moet Wel Je Plaats Weten.* Inaugurale rede, LUW Wageningen, 1985.

(Molenaar, 1989a) Molenaar, M.: *Single Valued Vector Maps - A concept in Geographic*

Information Systems. Geo-Informations-Systems Vol. 2 nr. 2, 1989, pp18-26.

(Molenaar, 1989b) Molenaar, M.: *Een formele gegevensstructuur voor enkelvoudige vector-kaarten*. Geodesia, 1989-9, pp392-401.

(Molenaar, 1989c) Molenaar, M.: *Een aanzet voor een geografische informatietheorie*. NGT-Geodesia, 1989-2, pp. 58-64.

(Molenaar, 1989d) Molenaar, M.: *Towards a geoinformation theory.* ITC Journal 1989, nr. 1, pp 5-11

(Molenaar, 1990) Molenaar, M.: *A formal data structure for 3-D vectormaps.*
a. - Proc. EGIS Amsterdam NL, April 1990, pp. 770 - 782.
b. -Proc. Commission III ISPRS, Wuhan, P.R.China, Mai 1990, pp. 535 - 550.

(Molenaar,1991) Molenaar, M.: *Status and problems of Geographical Information Systems. The necessity of a geoinformation theory.* ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 46, p 85-103.

(Molenaar, 1992) Molenaar,M.: *A Topology for 3-D vector maps*. ITC-Journal 1992 pp 25-34.

(Molenaar, 1998a) Molenaar, M.: *To See or not to See*. ITC Journal, a-1, pp. 39-45.

(Molenaar, 1998b) Molenaar, M.: *An Introduction to the Theory of Spatial Object Modelling for GIS.* Taylor & Francis, London, 1998.

(Molenaar, 2003) Molenaar M.: The research goals and the research strategy of the EuroSDR. In: Heipke, R. Kuittinen, G. Nagel (Eds.): *From OEEPE to EuroSDR: 50 years of European Spatial Data Research and beyond.* Leuven, EuroSDR, Official Publication No. 46, 2003, pp.75-85.

(Molenaar, 2020) Molenaar, M.: *De Delftse School - De ontwikkeling van een kwaliteitstheorie voor geodetische metingen, 1930-1980.* De Hollandse Cirkel: Geodetisch-Historische Monografieën Nr. 4, 2020.
https://www.hollandsecirkel.nl/documentatiecentrum/g-h-monografieen

(Molenaar e.a, 1970) Molenaar e.a, red: *Lustrumboek Snellius 65-70.* Landmeetkundig Gezelschap Snellius, Delft, 1970.

(Molenaar en Janssen, 1993) Molenaar, M. en L.L.F. Janssen: *Terrain Objects, Their Dynamics and Their Monitoring by the Integration of GIS and Remote Sensing.* Proceedings IGARSS'93, Tokyo, 1993, pp1717-1720.

(Molenaar en Loedeman, 2022) Molenaar, M. en J.H.L. Loedeman, 2022: *Landmeters in Wageningen - Hoe het Laboratorium voor Landmeetkunde zich ontwikkelde tot het Centrum voor Geo-Informatiekunde en Remote Sensing.* Geodetisch-Historische Monografieën Nr. 8, Stichting de Hollandse Cirkel, Apeldoorn, 2022.
https://www.hollandsecirkel.nl/documentatiecentrum/g-h-monografieen

(Molenaar en Richardson, 1993) Molenaar, M., D.E. Richardson. *Linking Aggregation Levels for Multiple Abstractions in GIS.* Proceedings workshop ISPRS wg III/IV and IV-6,"Global GIS", Tokyo, Aug-1993.

(Oosterom, 1990) Oosterom, P. van: *Reactive Data Structures for Geographic Information Systems.* RUL, Leiden, 1990.

(Obbink, 2011) Obbink, M.H.: *Functional classification of spatially heterogeneous environments: the Land Cover Mosaic approach in remote sensing.* LUW, Wageningen, 2021.

(Peng, 1997) Peng, W.: *Automated Generalization in GIS,* LUW, Wageningen, 1997.

(Pilouk, 1996) Pilouk, M.: *Integrated Modelling for 3D GIS.* ITC, Enschede, 1996.

(Quee, 1983) Quee, H.: *Quaternion Algebra Applied to Polygon Theory in Three Dimensional Space.* Netherlands Geodetic Commission, Publications on Geodesy, New Series, Vol. 7, No. 2, Delft, 1983.

(Quine, 1960) Quine, W.V.: *Word and Object.* Cambridge, MA: The MIT Press, 1960.

(Richardson, 1993) Richardson, D.E.: *Automated Spatial and Thematic Generalisation Using a Context transformation Model.* LUW, Wageningen, 1993.

(Rikkers e.a., 1994) Rikkers, R., M. Molenaar, J. Stuiver: *A query oriented implementation of a topological data structure for 3-dimensional vector maps.* International Journal of GIS, 8, p 243-260.

(Romein, 1976) Romein, J.: *Historische lijnen en patronen.* Querido, Amsterdam, 1976.

(Russell, 1973) Russell, B.: *An Inquiry into Meaning and Truth.* Middlesex, Penguin Books, 1973.

(Sanders, 1999) Sanders, M.E.: *Remotely sensed hydrological isolation: A key factor predicting plant species distribution in fans.* LUW, Wageningen, 1999.

(Schermerhorn en van Steenis, 1964): Schermerhorn, W. en H. J. van Steenis: *Leerboek der landmeetkunde,* 4de druk. Argus, Nederland, Den Haag, 1964.

(Schoemakers, 1995) Schoenmakers, R.P.H.M.: *Integrated methodology for segmentation of large optical satellite images in land applications of RS.* J.R.C. European Commission, Luxembourg, 1995.

(Sharifi, 1992) Sharifi, M.A.: *Devellopment of an Appropriate Resource Information System to Support Agricultural Management at Farm Enterprise Level.* ITC, Enschede, 1992.

(Smaalen, 2003) Smaalen, J.W.N. van: *Automated Aggregation of Geographic Objects: a new approach to the conceptual generalisation of geographic databases.* LUW, Wageningen 2003.

(Suryana, 1997) Suryana, N.: *A geo-information theoretical approach to inductive erosion modelling based on terrain mapping units.* LUW, Wageningen, 1997.

(Uitermark, 2001) Uitermark, H.T.J.A.: *Ontology-based geographic data set integration.* UT, Enschede, 2001.

(Verhoef, 1998) Verhoef, W.: *Theory of radiative transfer models applied in optical remote sensing of vegetation canopies.* LUW, Wageningen, 1998.

(Winter, 1996) Winter,S.: *Unsichere topologische Beziehungen zwischen ungenauen Flächen.* Deutsche Geodätische Kommission, München, Reihe C, Heft Nr. 465, 1996.

(Yang, 1992) Yang, H.: *Zur integration von Vektor- und Rasterdaten in GIS.* Deutsche Geodätische Kommission, München, Reihe C, Heft Nr. 389, 1992.

(Zhan, 2003) Zhan, Q.: *A Hierarchical Object-Based Approach for Urban Land-Use Classification from Remote Sensing Data*. ITC, Enschede, 2003.

(Zhang, 2012) Zhang, X.: *Automated evaluation of generalized topographic map*s. ITC, Enschede, 2012

Lijst van illustraties

Fig. 1[w]:"Geodesie", Kanaalweg 4, Delft
Fig. 2[mm]: De Landmeter
Fig. 3[w]: De Verwerking van luchtfoto's
Fig. 4: De ellipsen geven de nauwkeurigheid van de berekende punten weer en de cirkels representeren de nauwkeurigheidseisen.
Fig. 5[w]: ITC, Boulevard 1945, Enschede
Fig. 6[w]: Radaropname van Noord- en Zuid-Beveland, 1964
Fig. 7[w]: Een vroege afdruk van een satellietbeeld met een matrixprinter.
Fig. 8[w]: luchtfoto en een beeld van de Spot-satelliet
Fig. 9[w]: "Landmeetkunde" - Het gebouw op de berg
Fig. 10[w]: de combinatie van GIS en Remote Sensing beelden.
Fig. 11[w]: Meerschalige monitoring van processen.
Fig. 12: De grenzen van landbouwpercelen ondersteunen de classificatie van een rs-beeld om de gewassen per perceel te identificeren
Fig. 13: vector- en rasterstructuur.
Fig. 14: Basisstructuur van veld en objectrepresentaties
Fig. 15: De basisstructuur van de FDS
Fig. 16: Representatie van ruimtelijk objecten met 3D topologie
Fig. 17: De attribuutstructuur van een thematische objectklasse
Fig 18: Attribuutstructuur van een veldrepresentatie
Fig. 19: Thematische partities en classificatiehiërarchiën
Fig, 20: Vier aggregatieniveaus bij agrarische landgebruik
Fig. 21: Structurele aggregatie
Fig. 22: Database-generalisatie en visualisatie
Fig. 23: geometrische representatie van crispe (scherp begrensde) en vage vlakobjecten.
Fig. 24: Het monitoren van vage ruimtelijke objecten. De dynamiek van de "bult" van Ameland.
Fig. 25: Schematische weergave van dynamische objecten
Fig. 26[w]: ITC, Hengelosestraat, Enschede
Fig. 27: Verhouding van de geo-informatietheorie tot andere disciplines
Fig. 28[w]: Apollo 8 - Earth Rise
Fig. 29[w]: Geo-informatie voor het bijsturen van mondiale processen.
Fig. 30[itc]: Het internationale academische netwerk van ITC rond 2007
Fig. 31[itc]: ITC wordt Faculteit van de Universiteit Twente
Fig. 32[mm]; Tabé toga
Fig. A5: Objecten (links) verbonden in een CDTN (rechts)

Bij niet gemarkeerde illustraties is de bron in de tekst vermeld
Markering [w] betekent dat illustratie van het web is gehaald
Markering [itc] betekent dat ITC de bron is
Markering [mm] betekent dat de illustratie uit eigen collectie is

Lijst van afkortingen

BaMa-structuur: Hogeronderwijsprogramma's op Bachelor- en Master nivieau
BGT: Basisregistratie Grootschalige Topografie
CAD/CAM Computer aided design and management
CCM: Canada Centre for Mapping
CDTN: Constrained DTN
CROHO: Centraal Register Opleidingen Hoger Onderwijs
CvB: College van Bestuur
DG: Directeur Genraal (op een ministerie)
DLO: Dienst Landbouwkundig Onderzoek
DTN: Delaunay Triangulation Netwerk
EFDS: Extended FDS
ESA: European Space Agency
EuroSDR: organisatie voor European Spatial Data Research
FEL-TNO: Fysisch-Elektronisch Laboratorium van TNO
FDS: Formele Data Structuur (Formal Data Scheme)
GBKN: Grootschalige Basiskaart van Nederland
G4AW: Geodata for Agriculture and Water
GATS: General Agreement on Trade in Services
GI: Geo-informatie
GIMA*:* MSc-programma "*Geographical Information Management and Application"*
HGIS: Harmonisatie Gelden Internationale Samenwerking
HOOP-2004: Hoger Onderwijs- en Onderzoeksplan" voor 2004
ICT: Informatie en Communicatie Technologie
IHE: Delft Institute for Water Education
IHS: Institute for Housing and Urban Development Studies
IO: Internationaal Onderwijs
ISPRS:International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
ISS: International Institute of Social Studies
KK-schatters: statische schatters gebaseerd op de methode der kleinste kwadraten
KNAW: Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen
KvAG: Kring voor Aardobservatie en Geo-Informatie
LGZ: Landgebruikszone, of LUZ in het Engels
LIDAR: LIght Detection of Laser Imaging And Ranging (gebruikt voor laser-hoogtemetingen)
LUW: Landbouwuniversiteit Wageningen
MARS: Monitoring Agricultural ResourceS (EU)
MD-RWS: Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat
MERIS: Medium Resolution Imaging Spectrometer, van ESA
MSM: Maastricht School of Management
NASA: National Aeronautics and Space Administration (US)
NCG: Nederlandse Commissie voor Geodesie, vanaf 2014 Nederlands Centrum voor Geodesie en Geo-informatica
NCGIA: The National Centre for Geographic Information and Analysis (US)
NEXPRI: Nederlands Expertisecentrum voor Ruimtelijke Informatieverwerking
NGII: Nationale Geo-informatie Infrastructuur
NIWARS: Netherlands Interdepartemental Working Group for Applied Research on Remote Sensing
NMAs: National Mapping Agencies

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration (US)
NOAA-AVHRR: Advanced Very High Resolution Radiometer van NOAA
NRSP: Nationaal Remote Sensing Programma
NSO: Netherlands Space Office
NVF: Nederlandse Vereniging voor Fotogrammetrie
NWO: Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek
NVAO: Nederlands-Vlaamse Accreditatie Organisatie
OCW: Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap
OEEPE: Organization Europeene d'Études Photogrammetriques Expérimentale
OS: Ministerie voor Ontwikkelingssamenwerking
ROVE: werkgroep Radar Onderzoek voor Vegetatie
RS: Remote Sensing
SAIL: Samenwerkingsverband instituten Internationaal onderwijs en Landbouwuniversiteit Wageningen
STW: Stichting voor de Technische Wetenschappen
SVVM: Single Valued Vector Maps
TG-partities: thematisch-geometrische partities
TMG: Terreinmodel Vastgoed
TNO: Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek
TOP10-vector: Topografisch gegevensbestand op schaal 1:10.000
UT: Universiteit Twente
WHW: Wet op het Hoger onderwijs en Wetenschappelijk onderzoek
WTO: World Trade Organization
WTUSM: Wuhan Technical University of Surveying and Mapping

ANNEXEN

Annex 1*: Een opmerking over geometrische basisstructuren

In **8.3.1** is al kort iets gezegd over de verhouding tussen de vector- en rasterstructuur als geometrische basisstructuren. In principe maakt het in semantische zin niet uit welke structuur voor de geometrische beschrijving van ruimtelijk situaties wordt gekozen. Maar in pragmatisch zin kan het wel verschil maken welke topologische en geometrische kenmerken die beschrijving heeft. Hieronder zullen we kort drie geometrische basisstructuren vergelijken:

1) De vectorstructuur is opgebouwd uit punten, zijdes (of lijnstukken) en vlakelementen. Een te karteren gebied wordt volledig gedekt door een veld van aansluitende en niet overlappende vlakelementen. Daarin heeft ieder vlakelement een grens die bestaat uit een aantal zijdes, waarbij iedere zijde een begin- en eindpunt heeft. Het aantal zijdes van een grens zal over het algemeen tussen de vlakelementen verschillen. Een vlakelement deelt zijdes van de grens met een een aantal andere vlakelementen. Laten we dit zijde-buren noemen. Het aantal zijde-buren van vlakelementen zal dan dan ook variëren. Tevens kan het met een aantal andere vlakelementen eventueel alleen grenspunten delen. Laten we dat punt-buren noemen. Ook het aantal punt-buren van vlakelementen kan verschillen. De topologische relaties tussen objecten zijn nu volledige afleidbaar uit de topologische relaties tussen alle geometrische elementen, in combinatie met de relaties tussen de geometrische elementen en ruimtelijke extensies van de objecten.
2) Bij een triangulatie hebben alle driehoeken drie zijde-buren, maar een variabel aantal punt-buren. Dat geldt, tenzij alle driehoeken gelijkzijdig zijn. In dat geval hebben ze nog steeds drie zijde-buren, maar is het aantal punt-buren per grenspunt altijd drie (met hoeken van 60°).
3) In een rasterstructuur zijn de vlakelementen, hier rastercellen genoemd, altijd rechthoekig of zelfs vierkant. Ze hebben altijd vier zijde-buren en per hoekpunt één punt-buur.

Uit bovenstaande volgt dat de vectorstructuur voor wat betreft de topologische relaties tussen onderling aangrenzende geometrische elementen, de meeste vrijheidsgraden heeft. Dat betekent dat algoritmes voor het doorrekenen van op geometrie gebaseerde relaties hiermee rekening moeten houden. Bij triangulaties worden de vrijheidsgraden enigszins ingeperkt doordat er altijd drie zijde-buren zijn. Bij gelijkzijdige driehoeken geldt dat nog sterker door dan ook het aantal punt-buren beperkt wordt. Voor de rasterstructuur zijn er nog minder vrijheidsgraden.

Als het aantal vrijheidsgraden van een geometrische basisstructuur beperkt wordt, kan men over het algemeen efficiëntere algoritmes ontwikkelen omdat die met minder variaties in buur-relaties rekening hoeven te houden. Bovendien hebben de grenszijdes bij een triangulatie met gelijkzijdige driehoeken allemaal dezelfde lengte en bij celrasters kunnen er één of twee lengtematen voor zijdes voorkomen, afhankelijk van het feit of de cellen vierkant of rechthoekig zijn. Ook die beperkingen kunnen weer tot efficiëntere algoritmes leiden. Maar deze efficiëntie gaat dan wel ten koste van de flexibiliteit waarmee de geometrie van een terreinsituatie kan worden weergegeven.

De bovenstaande beschouwing geldt voor terreinrepresentaties waarin vlakelementen een rol spelen. Waar het gaat om de representatie met een “veldstructuur”, kan het zijn dat de

terreinkenmerken voor puntposities worden weergegeven. Ook dan kan een vergelijkbare redenering worden toegepast.

Annex 2*: Formalisatie van relaties tussen entiteitstypen in FDS

De pijlen in het schema van de FDS zoals in Fig. 15, geven "m op 1" relaties weer. Als we voor die relaties de notatie R[a, b] hanteren dan betekent dat dat meerdere entiteiten van het type *a* gerelateerd kunnen zijn aan één entiteit van het type *b*. Als we het voorbeeld van de relatie "Links" tussen *edges* en *faces* schrijven als Le[e, f] dan krijgt deze relatie de waarde 1 voor de combinaties van *edges* en *faces* waarvoor die geldt en anders de waarde 0.

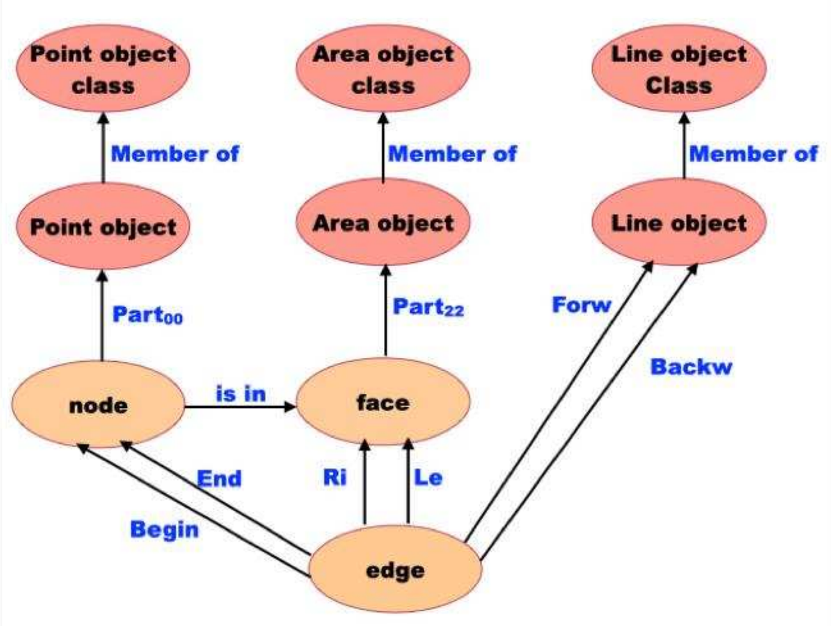


Fig. 15: De basisstructuur van de FDS (Molenaar, 1998)

Alle relaties die door pijlen in het schema zijn gerepresenteerd kunnen zo met deze notatie worden weergegeven. De andere relatie tussen *edges* en *faces* kan worden gerepresenteerd als Ri[e, f] en de relatie tussen *faces* en vlakobjecten, area objects, O_a als $Part_{22}[f, O_a]$. Daaruit kunnen samengestelde functies worden afgeleid: $Le[e, O_a] = Min\{Le[e, f], Part_{22}[f, O_a]\}$, Min{*a, b*} staat voor het minimum van *a* en *b.*

Als voor een combinatie van een *edge*, een *face* en een vlakobject de functies Le[e, f] en $Part_{22}[f, O_a]$ beide de waarde 1 hebben, dan krijgt ook de functie $Le[e, O_a]$ de waarde 1 en dat betekent dat het vlakobject links van de *egde* ligt. Als voor een of beide uitgangsrelaties de waarde 0 is, dan geldt de relatie tussen de *edge* en het vlakobject niet. Op een vergelijkbare wijze wordt de rechtse relatie $Ri[e, O_a]$ tussen object en *edge* gedefinieerd. Een volgende afgeleide functie is dan $B[e, O_a] = Le[e, O_a] + Ri[e, O_a]$, deze kan de waardes 0, 1 of 2 aannemen. Daarmee herkennen we drie situaties:

- $B[e, O_a] = 0$, dan is er geen relatie tussen *edge* en object,
- $B[e, O_a] = 1$, dan ligt het object aan één kant van de *edge*, die is daarom een deel van de grens van het object
- $B[e, O_a] = 2$, dan ligt het object aan beide kanten van de *edge*, anders gezegd de *edge* ligt in het object.

Net zoals de links- en rechts-relaties tussen vlakobjecten en *edges* hier werden vastgesteld, kunnen ook voor *edges e* en lijnobjecten O_l de relaties $For[e, O_l]$ en $Back [e, O_l]$ voor de voorwaartse en terugwaartse koppeling worden ingevoerd. Ook hieruit is de samengestelde functie $Deel[e, O_l] = For[e, O_l] + Back[e, O_l]$ af te leiden. Daar een *edge* slechts op een wijze,

voorwaarts òf terugwaarts, aan een lijnobject gekoppeld kan worden kan Deel[e, O_l] alleen de waarden 0 of 1 krijgen. In het geval die 0 is is er geen relatie, als die 1 is dan is de *edge* een deel van de lijn. Voor iedere *edge* e_i kan dan de volgende samengestelde functie geëvalueerd worden: B[O_l, O_a|e_i] = Min{B[e_i,O_a], Deel[e_i, O_l]}. Ook deze functie kent weer drie mogelijke waarden:

– B[O_l, O_a |e_i] = 0, de *edge* legt geen relatie tussen de objecten.
– B[O_l, O_a |e_i]= 1, via deze *edge* loopt het lijnobject langs de grens van het vlakobject.
– B[O_l, O_a |e_i]= 2, via deze *edge* loopt het lijnobject door het vlakobject.

Stel nu dat we voor een *edge* met Deel[e, O_l] = 1 vinden dat Le[e, O_{a1}] = 1 èn Ri[e, O_{a2}] = 1, dan loopt het lijnobject via die *edge* over de grens tussen de vlakobjecten O_{a1} en O_{a2}. Als het ene vlakobject een landbouwgebied is en de andere een bosgebied en het lijnobject is een spoorlijn, dan loopt de spoorlijn dus over de grens tussen het landbouwgebied en het bosgebied.

Bovenstaande beschrijving is slechts bedoeld om een impressie te geven hoe de ruimtelijke relaties in een objectgestructureerde terreinweergave kunnen worden afgeleid uit een adequaat gekozen datamodel, waarin de topologie op het niveau van de geometrische elementen volledig gespecificeerd is, als in *Fig 15*. In (Molenaar, 1998b) is deze benadering in detail uitgewerkt.

Annex 3: Brief aan Baarda bij zijn 80ste verjaardag

Professor Baarda 80 jaar!

Geachte professor Baarda,

Namens alle ruim vijfhonderd leden van de Nederlandse Vereniging voor Geodesie wil ik u van harte gelukwensen met uw tachtigste verjaardag op 20 juli jl.!

Velen van onze leden hebben een belangrijk deel van hun vorming aan u te danken. Die vorming bevat meerdere componenten. Uiteraard wordt vaak allereerst gedacht aan wat u ons leerde over de door u ontwikkelde methodologie rondom modelvorming. Daarnaast moet zeker ook worden genoemd dat u uw theorieën altijd plaatst in een praktische context. En – ook zeker niet onbelangrijk — u leerde ons dat geodetische technieken dienstbaar zijn aan doelen die door de maatschappij worden bepaald.

Vanwege uw grote verdiensten voor de geodetische gemeenschap bent u op 7 mei 1981 tot erelid van onze vereniging benoemd. Het zou hier te ver voeren om een opsomming van die verdiensten te geven. Ik verwijs de lezer graag naar de Feestbundel „Daar heb ik veertig jaar over nagedacht", in 1982 uitgebracht ter gelegenheid van uw 65e verjaardag. Ook daarna bent u een actief en kritisch lid van de geodetische gemeenschap en van de NVG gebleven. U laat ons in uw artikelen en in uw optreden zien dat u jong bent: in uw geest, in uw brede belangstelling en in uw nieuwsgierigheid en vasthoudendheid bij uw wetenschappelijke speurtochten. U bent hierin voor ons een groot voorbeeld.

Het doet ons groot genoegen dat hieronder de vier bij u gepromoveerde geodeten, Martien Molenaar, Herman Quee, Frits Brouwer en Peter Teunissen, ieder vanuit hun eigen belevingswereld, op volgorde van de datum van hun promotie een schets geven van uw betekenis voor ons fantastische vak.

Wij wensen u nog veel goede jaren toe!

mr. ir. Jos C. Anneveld,
voorzitter Nederlandse Vereniging voor Geodesie.

De bochtige weg terug naar de idealisatienauwkeurigheid

Waarde Baarda,

Met veel genoegen heb ik gehoor gegeven aan het verzoek van onze voorzitter om ter gelegenheid van je tachtigste verjaardag een bijdrage te leveren aan ons tijdschrift en ik sluit me van harte aan bij zijn gelukwens. Deze gelegenheid doet me ook realiseren dat je dus vijftig was toen ik je als eerstejaarsstudent in 1967 leerde kennen. Dit is zo bijzonder omdat je blijkbaar in die tijd voldoende aanloop had genomen om tot je belangrijkste fase van wetenschappelijke productiviteit te komen. Je pen is in die jaren pas echt gaan vloeien en heeft dat toen nog lange tijd volgehouden. Zelfs nu nog publiceer je stukken waaruit blijkt hoe fundamenteel je werk is geweest.

In de vijf jaar die de opleiding duurde, liet je ons getuige zijn van je worsteling om een theoretisch kader te formuleren voor de berekening en analyse van geodetische netwerken. Dit kreeg vorm in een op de definitie van invarianten gebaseerd rekenmodel, gecompleteerd met een stochastisch model dat de strakke toepassing van statistische toetsingstheorieën mogelijk maakte. Je benadering was fundamenteel en voor studenten niet altijd even toegankelijk, maar voor wie het wilde horen, kwam de boodschap wel over dat de problemen die je aanpakte van zeer praktische aard waren. Je fundamentele aanpak was gericht op het vinden van een structurele aanpak van de kwaliteitsproblemen die de geodeet tegenkwam bij het genereren van een geometrisch raamwerk voor het vastleggen van wat we nu geo-informatie zouden noemen.

Ik raakte tijdens mijn studie in Delft geboeid door je aanpak en het lag dan ook voor de hand dat ik in de periode van 1973 tot 1983, toen ik op het ITC werkte, probeerde om deze werkwijze op de fotogrammetrie toe te passen. Hierbij kwamen twee aspecten aan de orde:

- ten eerste werd het functionele model van de fotogrammetrie met jouw quaternionbenadering onderzocht, om te zien of de structuur van terrestrische netwerken hierin

kon worden teruggevonden. Dit resulteerde in een model waarmee de vereffening van bundelblokken via het eerste standaard-vraagstuk mogelijk werd. Er zullen weinigen zijn die zich realiseren dat Robert Kroon later deze methodiek gebruikte, als basis voor het rekenmodel dat ten grondslag ligt aan het Frank-systeem en aan de methodieken die hij ontwikkelde voor industriële toepassingen van de fotogrammetrie;
- ten tweede dwong het driedimensionale karakter van de fotogrammetrie tot een aanpassing van je criteriumtheorie. Je formulering van de criterium-matrix voor geodetische puntenvelden met de bijbehorende schrankingstransformatie moest uitgebreid worden voor de derde dimensie. Dit was het eigenlijke onderwerp van de dissertatie, waarop ik in 1981 bij je promoveerde.

In mijn Wageningse periode van 1983 tot 1996 moest ik mijn aandacht verleggen. Ik kwam daar in aanraking met vele disciplines die zich met kartering en ruimtelijke analyse bezighielden. Daarbij was metrische nauwkeurigheid niet een eerste probleem, het probleem was veeleer gelegen in het feit dat de thematische categorieën waarin men ze uitdrukken, niet scherp bepaald zijn. Dit heeft tot gevolg dat de ruimtelijke fenomenen, waarin men geïnteresseerd is, niet precies te lokaliseren zijn. Dus ook hier treft men ruimtelijke onzekerheid, maar deze is niet goed te beschrijven met de modellen die ik in de geodesie van jou had geleerd. Toen ik echter met deze materie begon te worstelen, bleek pas dat het essentiële dat ik van je had geleerd, niet was gelegen in je modellen, maar in je werkwijze en je filosofische houding. Een gedegen analyse van de functionele structuur van ruimtelijke beschrijvingen leidde tot een wiskundige formulering van de samenhang tussen de geometrische en thematische beschrijving van ruimtelijke objecten. Deze wiskundige formulering laat de structurele overeenkomsten zien tussen de verschillende typen van ruimtelijke beschrijvingen, dat wil zeggen men vindt dezelfde basisstructuren (of syntax) of het nu om bijvoorbeeld topografische, kadastrale, bodemkundige of vegetatiegegevens gaat. Tevens maakt deze wiskundige benadering de analyse mogelijk hoe de onzekerheid van thematische objectgegevens doorwerkt in de onscherpte van hun geometrische beschrijving. Op dit punt aangekomen, bleek ik opeens via een geheel andere weg weer op door jou reeds lang geleden beschreven idealisatienauwkeurigheid van objecten te stuiten. In ieder geval lijkt het ontwikkelde model de analyse van de voortplanting van onzekerheden mogelijk te maken. Dit opent de weg voor een verdere analyse van data-acquisitie processen en voor de ontwikkeling van een kwaliteitstheorie voor geo-informatie. Dat is dan ook wat ik me heb voorgenomen om aan te pakken, nu ik weer terug ben op het ITC.

Prof. dr. ir. Martien Molenaar, International Institute for Aerospace Survey and Earth Science ITC, Enschede. Chair on „Spatial information production from photogrammetry and remote sensing". Department of Geo-Informatics. Gepromoveerd in 1981. Titel proefschrift: „A further inquiry into the theory of S-transformations and criterion matrices".

Waarde Baarda, ik loop nu zelf naar de vijftig, de leeftijd die jij had toen ik je leerde kennen. Ik heb daarbij het gevoel dat ik nu ongeveer aankom op het punt waar jij toen was; de contouren van een theoretisch raamwerk beginnen zich af te tekenen en vragen om verdere uitwerking. Het ziet ernaar uit dat het veld van de geo-informatieverwerking, dat er tien jaar geleden nog zo amorf uitzag, nu langzamerhand een wetenschappelijke structuur krijgt en kan uitgroeien tot een volwaardige ingenieursdiscipline. Velen werken op dit veld, maar mijn gevoel is dat er vanuit het gedachtengoed van jouw Delftse school belangrijke bijdragen kunnen worden geleverd.

In de dertig jaar dat we elkaar kennen, heb ik genoten van de inhoudelijke discussies die we hebben gevoerd en ik was altijd onder de indruk van je vermogen om tot de essentie van de zaak door te dringen. Ook in de latere fase van mijn werk, waarbij ik in de GIS-richting verschoof, stelde je je kritisch op en hield je je op de hoogte. Het was dan ook een mooi moment toen je je scepsis ten opzichte van deze activiteiten overwon en doorzag dat hier inderdaad fundamenteel werk kan worden gedaan. Het leek me dat je toen een moment van herkenning beleefde. Ik hoop dit contact met je te kunnen voortzetten, want je ervaring is van groot belang.

Annex 4: Promovendi

Addink, Elisabeth
Onderwerp: *Change detection with remote sensing: Relating NOAA-AVHRR to environmental impact of agriculture in Europe.*
Universiteit: WU, 2002.
Promotoren: Prof. M. Molenaar (ITC), Prof. S de Jong (WU-GRS)
Co-promotor: Dr. J. Clevers (WU-GRS)

Bishr, Yaser
Onderwerp: *Semantic aspects of interoperable GIS.*
WU in samenwerking met ITC, 1997
Promotor: Prof. M. Molenaar (WU-GRS)
Co-promotor: Dr. M. M. Radwan (ITC)

Bruin, Sytze de
Onderwerp: *Geographical Information modelling for Land resource Survey,*
Universiteit: WU, 2000.
Promotoren: Prof. M. Molenaar (ITC), Prof. A. Bregt (WU-GRS)

Cheng, Tao.
Onderwerp: *A Process-Oriented Data Model for Fuzzy Spatial Objects,*
Universiteit: WU in samenwerking met ITC 1999.
Promotor: Prof. M. Molenaar (ITC)
Co-Promotor: Prof. W. Kainz (ITC)

Clevers, J.G.P.W.
Onderwerp: *Appliction of Remote Sensing to Agricultural Field Trials*,
Universiteit: LUW, 1986,
Promotoren: Prof. L.C.A. Corsten (WU-WSK), Prof. M. Molenaar (WU-LMK).

Droesen, W.
Onderwerp: *Spatial Modelling and Monitoring of Natural Landscapes.*
Universiteit: WU, 1999.
Promotoren: Prof. M. Molenaar (WU-LMK), Prof. J. Sevink (UvA-FG)

Epema, G.F.
Onderwerp: *Spectral Reflectance in the Tunesian Desert*,
Universiteit: LUW, 1992.
Promotoren: Prof. S.B. Kroonenberg (WU-BMK), Prof. M. Molenaar (WU-LMK).

Fritsch, D.
Habilitation
Onderwerp: *Raumbezogene Informationssusteme und Digitale Geländemodelle*,
Universiteit: TU München, 1991.
Referenten (Berichter): Prof. H. Ebner (TUM-Geod), Prof. K. Schnädelbach (TUM-Geod), Prof. M. Molenaar (WU-LMK).

Gorte, B.
Onderwerp: *Probabilistic Segmentation of Remotely Sensed Images.*
Universiteit: WU, !998
Promotor: Prof. M. Molenaar (ITC)
Co-propmotor: Prof. Dr. Ir. A Stein (ITC)

Hoekman, D.H.
Onderwerp: *Radar remote sensing Data for Apllications in Forrestry*,
Universiteit: LUW, 1990,
Promoteren: Prof. M. Molenaar (WU-LMK), Prof. L. Krul. (TUD-ET)

Hongguang Yang
Onderwerp: *Zur integration von Vektor- und Rasterdaten in GIS*,
Universiteit: TU München, 1992,
Promotoren (Prüfer der Dissertation): Prof. H. Ebner (TUM-Geod), Prof. M. Molenaar (WU-LMK).

Huising, J.
Onderwerp: *Land Use Zones and Land Use Patterns in the Atlantic Zone of Costa Rica*,
Universiteit: LUW, 1993,
Promotoren: prof. M. Molenaar (WU-LMK) Prof. J. Bouma (WU-BMK).

Janssen, L.L.F.
Onderwerp: *Methodology for Updating Terrain Object Data from Remote Sensing Data*,
Universiteit: LUW, 1994,
Promotor: Prof. M. Molenaar (WU-LMK).

Kufoniyi, O.
Onderwerp: *Spatial coincidence modelling, automated database updating and data consistency in vector GIS*,
Universiteit: LUW in samenwerking met ITC, 1995,
Promotor: Prof. M. Molenaar (WU-LMK)
Copromotor: Dr. Th. Bouloucos MSc. (ITC)

Leeuwen, H. van
Onderwerp: *Methodology for combining optical and microwave remote sensing in agricultural crop monitoring*.
Universiteit: WU, 1996.
Promotor: Prof. M. Molenaar (WU-LMK)
Co-promotor: Dr.Ir. J.G.P.W. Clevers (WU-LMK)

Liu Yaolin
Onderwerp: *Categorical Database Generalization in GI*S
Universiteit: WU in samenwerking met ITC, 2002
Promotoren: Prof. M. Molenaar (ITC), Prof. M.J. Kraak (ITC)

Oosterom, P. van,
Onderwerp: Data structures for GIS,
Universiteit: RU Leiden, 1990.
Promotor: Prof. J. van den Bos (TUD-ICT)
Referent: Prof. M. Molenaar (WU-LMK)

Obbink, M.
Onderwerp: *Functional classification of spatially heterogeneous environments: the Land Cover Mosaic approach in remote sensing*.
Universiteit: WUR, 2011
Promotor: Prof. M. Molenaar (ITC)

Peng, W.
Onderwerp: *Automated Generalization in GIS*
Universiteit: WU in samnewerking met ITC, 1997

Promotor: Prof. M. Molenaar (ITC)
Co-promotor: Dr. Ing. K. Tempfli (ITC)

Pilouk, M.
Onderwerp: *Integrated Modelling for 3D GIS.*
Universiteit: WU in samenwerking met ITC, 1996.
Promotor: Prof. M. Molenaar (WU-LMK)
Co-promotor: Dr. Ing. K. Tempfli (ITC).

Richardson, D.E.
Onderwerp: *Automated Spatial and Thematic Generalisation Using a Context transformation Model*,
Universiteit: LUW, 1993,
Promotor: Prof. M. Molenaar (WU-LMK).

Sanders, M.E.
Onderwerp: *Remotely sensed hydrological isolation: A key factor predicting plant species distribution in fans.*
Universiteit: WU, 1999.
Promotor: Prof. M. Molenaar (ITC)
Co-Promotor: Dr. B. Pedroli (IVN)

Schoenmakers, R.P.H.M.
Postume promotie
Onderwerp: *Integrated methodology for segmentation of large optical satellite images in land applications of RS*.
Universiteit: KUNijmegen, 1995.
Promotores: Prof. J. Vytopil (KUN-INFO), Prof. M. Molenaar (WU-LMK)

Sharifi, M.A.
Onderwerp: *Devellopment of an Appropriate Resource Information System to Support Agricultural Management at Farm Enterprise Leve*l,
Universiteit: LUW in samenwerking met ITC, 1992,
Promotor: Prof. M. Molenaar (WU-LMK),
Co-promotor: Dr. H. van Keulen (CABO).

Smaalen, J.W.N. van,
Onderwerp: *Automated Aggregation of Geographic Objects: a new approach to the conceptual generalisation of geographic databases*.
Universiteit: WU, 2003,
Promotoren: Prof. M. Molenaar (ITC), Prof. A.K. Bregt (WU-GRS)

Suryana, N.
Onderwerp: *A geo-information theoretical approach to inductive erosion modelling based on terrain mapping units*.
Universiteit: WU, 1997.
Promtoren: Prof. M. Molenaar (ITC), Prof. A. Imeson (UvA-FG)

Uitermark, H.T.J.A.
Onderwerp: *Ontology-based geographic data set integration*
Universiteit: TU, 2001.
Promotoren: Prof. N.J.I. Mars (TU-INFO), Prof. M. Molenaar (ITC).

Verhoef, W.
Onderwerp: *Theory of radiative transfer models applied in optical remote sensing of vegetation canopies.*
Universiteit: WU, 1998
Promotor: Prof. M. Molenaar (ITC)
Co-promotor: Dr. Ir. N.J.J. Bunnik (BCRS)

Winter, S.
Onderwerp: *Unsichere topologische Beziehungen zwischen ungenauen Flächen.*
Universiteit: Universität Bonn, 1996
Promotoren (Referenten): Prof. W. Förstner (BU-Geod), Prof. H.P. Helfrich (BU-Geod), Prof. M. Molenaar (WU-LMK).

Zhan Qingming.
Onderwerp: *A Hierarchical Object-Based Approach for Urban Land-Use Classification from Remote Sensing Data*.
Universiteit: WU insamenwerking met ITC 2003
Promotor: Prof. M. Molenaar (ITC)
Copromotor: Dr. K. Tempfli (ITC)

Xiang Zhang
Onderwerp: *Automated evaluation of generalized topographic map*s
Universiteit: Twente University - ITC, 2012
Promotor: Prof. M.J. Kraak (ITC)
Promotor: Prof. M. Molenaar (ITC)

Annex 5: Promotieonderzoeken

Vanaf mijn aanstelling in 1983 in Wageningen heb ik gedurende de periode dat ik actief onderzoek deed een 30-tal promovendi begeleid. Deze onderzoeken werden uitgevoerd bij de vakgroep in Wageningen en later aan het ITC en sommige in samenwerking met Duitse collega's. De onderwerpen kunnen gegroepeerd worden naar subthema's van hoofdstukken **8, 9** en **10**. Daarbij zijn twee hoofdgroepen te onderscheiden.

De eerste groep betrof de verdere uitwerking van de geformuleerde geo-informatiemodellen:

- Allereerst waren er projecten gericht op de verdere ontwikkeling van de ideeën, op de implementatie ervan in IT-omgeving en op de integratie van gegevensbestanden uit verschillende bronnen.
- Andere projecten onderzochten de mogelijkheden, die hiërarchische modellen boden voor de (kaart)generalisatie van ruimtelijke gegevens.

De tweede groep betrof de integratie van geo-informatie in de RS-beeldanalyse:

- Allereerst werd de bruikbaarheid van RS-methoden voor nieuwe toepassingen onderzocht.
- Verder werd gekeken hoe geografische gegevens de RS-beeldinterpretatie konden versterken. Daarbij speelde het gebruik van hiërarchische gegevensmodellen in het interpretatieproces van RS-beelden een belangrijke rol.
- Een aantal projecten richtte zich op de vraag, hoe om te gaan met onzekerheden bij de identificatie van onscherpe ruimtelijke objecten.

De beschrijvingen hieronder zijn niet chronologisch, maar thematisch gegroepeerd in de hier genoemde categorieën. De voltooide onderzoeken van de promovendi hebben een belangrijke rol gespeeld bij het verdiepen van het inzicht in al deze thema's.

Het is uiteraard onmogelijk om in een of twee alinea's recht te doen aan ieder project. Daarom is de beschrijving vooral gericht op de wijze waarop het onderzoek aansloot op de in **8**, **9** en **10** beschreven ontwikkeling van een theoretisch kader. De projecten werden merendeels uitgevoerd in samenwerking met andere vakgroepen in Wageningen of aan andere universiteiten, maar ook vaak met andere organisaties die actief waren op het gebied van geo-informatie en RS.

A5.1 Onderzoeken op het gebied van geo-informatiemodellen

Verdere uitwerking van gegevensmodellen

Een eerste groep van projecten betrof de verdere uitwerking van de in hoofdstukken **8** en **9** beschreven informatiemodellen en van daarop gebaseerde methodes voor data-integratie. Die informatiemodellen zijn uitgewerkt voor ruimtelijke representaties in 2D.

In de jaren '90 waren er nog nauwelijks of geen geo-informatiesystemen die zowel vector- als rastergestructureerde geometrie konden behandelen. Daarom werd er gezocht naar mogelijkheden voor de intergratie van die twee vormen. *Huonggang Yang* was een medewerker van Siemens in München. Hij kreeg de opdracht om een methodiek voor die integratie te ontwikkelen. Hij werd begeleid door Prof. Heinrich Ebner van TU-München. Die vroeg mij om het project mede te begeleiden. Yang ontwikkelde een elegante oplossing op basis van Quadtrees (Yang, 1992). Zijn methode zou later in de SYCAD-software van Siemens geïmplementeerd worden.

In de jaren ’90 waren er nog geen geo-informatiesystemen voor de representatie van 3D situaties, die zouden later komen. In de CAD-wereld waren er al wel systemen beschikbaar, maar die konden niet zonder meer ingezet worden voor het behandelen van geo-informatie. Er werd daarom gezocht naar methodes voor de koppeling van hoogte informatie aan de 2D modellen. Dat was het onderwerp van het habilitationschrift van *Dieter Fritsch* (Fritsch, 1991). Collega Ebner uit München had mij ook voor dit onderzoek gevraagd om het mede te begeleiden. Dieter Fritsch zou niet lang na zijn habilitation benoemd worden op de prestigieuze leerstoel “Fotogrammetrie” in Stuttgart. Er werd toen al wel gewerkt aan methodes voor de representatie van echte 3D situaties. In **8.3.2** werd al het promotieonderzoek van Morakot Pilouk genoemd. Hij ontwikkelde een uitbreiding van het geo-informatiemodel, FDS, voor 2D situaties naar 3D (Pilouk, 1996).

Een belangrijk aspect van geo-informatie is dat de situatie in het terrein regelmatig verandert. Dat betekent dat ruimtelijke databases moeten worden bijgehouden. *Jide Kufoniyi* kwam uit Nigeria, hij had een MSc-graad van het ITC. Hij formuleerde voorwaarden voor het behouden van de consistentie van geo-databases tijdens het bijwerken van vooral geometrische gegevens (Kufoniyi, 1995). Dr. Kufoniyi werd kort na zijn promotie directeur van het regionale opleidingsinstituut voor fotogrammetrie en geo-informatie (RECTAS) in Ile Ife, Nigeria. Later werd hij hoogleraar aan de universiteit van Ife en speelde hij een belangrijke rol bij initiatieven in Afrika voor de ontwikkeling van infrastructuren voor geo-informatie.

Interoperability
In **10.1.2** werd het onderzoek van Yasser Bishr naar interoperability van geo-databases beschreven. Een ander probleem dat ook onder deze term kan worden genoemd is het hierboven genoemde feit, dat databases geregeld moeten worden bijgewerkt met nieuwe gegevens en om oude vervallen gegevens te verwijderen. Het probleem daarbij was uiteraard de synchronisatie van gegevensbestanden, in het geval dat meerdere bestanden dezelfde of vergelijkbare gegevens bevatten. Dan betekent dat een eventuele bijhoudingsoperatie in alle gerelateerde bestanden gelijktijdig gerealiseerd moet worden. Zo niet dan gaan er inconsistenties optreden bij het gebruik van gegevens uit verschillende bestanden.

Dit probleem werd opgepakt door *Harry Uitermark*, GIS-adviseur van het Kadaster. Hij zocht naar methodes om bijhoudingsoperaties tussen bestanden over te dragen. Een bijkomende reden daarvoor was dat dan nieuwe informatie maar één keer hoeft te worden ingewonnen, hetgeen een kostenbesparing kan betekenen. Dit is een complex probleem en niet eenvoudig te realiseren. Door het Kadaster werd een proefproject opgezet om te bezien of nieuwe informatie ingewonnen voor de GBKN zou kunnen worden doorvertaald naar de TOP10-vector. Prof. Koos Mars van de Universiteit Twente en ik traden hierbij op als promotoren, Dr Peter van Oosterom was medebegeleider. Uitermark ontwikkelde een methodiek vanuit een op ontologieën gebaseerde benadering, die methodiek sloot aan op de uitgangspunten van de FDS. De methode gaf goede resultaten, maar wel onder een aantal strikte voorwaarden voor de bestanden waartussen gegevens werden overgedragen, (Uitermark, 2001).

Het gebruik van geo-databases in decision supportsystemen
Mohamed Ali Sharifi had MSc-graden van de Universiteit van Teheran en van het ITC. Hij had onder andere als remote-sensingspecialist gewerkt voor het Ministerie van Landbouw in Iran. Daarna werd hij universitair docent bij het ITC. In zijn onderzoek ontwikkelde hij een op GIS gebaseerd informatiesysteem waarin gegevens over een landbouwcomplex werden opgeslagen.

Die gegevens betroffen de bodemfysische, hydrologische, ruimtelijke, sociale en management aspecten van het gebied. Daaraan werden een aantal interactieve procesmodellen gekoppeld voor de planning, monitoring en management van de te verbouwen gewassen. De procesmodellen gaven de mogelijkheid om bij de planning te optimaliseren naar door de gebruiker gekozen criteria. Het ontworpen systeem is uiteindelijk door het Iraanse Ministerie van Landbouw in gebruik genomen. Dr. Sharifi bleef tot zijn pensioen aan het ITC verbonden en vervulde adviesfuncties bij een aantal Iraanse organisaties.

A5.2 Database-generalisatie

Technieken voor het snel in- en uitzoomen op geo-databestanden

Het eerste project binnen het thema database-generalisatie was het promotieonderzoek van *Peter van Oosterom* (Oosterom, 1990). Op verzoek van zijn promotor bij de TU Delft zou ik hem als referent mede begeleiden. Hij werkte voor het Fysisch-Elektronisch Laboratorium van TNO (FEL-TNO). Zijn opdracht was het ontwikkelen van een techniek om snel in en uit te zoomen op kaarten, bijv. ter ondersteuning van straaljagerpiloten. Hij ging daarbij uit van digitale kaartbestanden, daarin moest hij vanuit de momentane positie van een vliegtuig snel kunnen wisselen tussen een overzicht van zijn/haar doelgebied op kleine schaal naar een gewenst niveau van detail op grotere schaal.

Dit onderzoek ging daarbij nog uit van het kaartparadigma, de nadruk lag op het ontwikkelen van een zoekstrategie waarmee snel de gewenste regio's en locaties in de kaart gevonden worden, op het gewenste detailniveau. Zijn strategie was gebaseerd op een "*reactieve datastructuur*", een boomstructuur die een multischaal-representatie van een gebied bevatte, waarbij op iedere stap omlaag in de boom meer detailinformatie was opgeslagen. Afhankelijk van het gewenste detail-niveau daalde het zoeksysteem af of klom het omhoog in de boom. Voor het uitdunnen van deze details in opwaartse richting werd gebruik gemaakt van algoritmen voor cartografische generalisatie.

Na zijn promotie heeft Van Oosterom bij het Kadaster een grote bijdrage geleverd aan de digitalisering van bestanden en werkprocedures. Daarna is hij hoogleraar in Delft geworden.

Het gebruik van Delaunay Triangulation Netwerken[43] bij database-generalisatie

Richardson en Van Smaalen ontwikkelden aggregatiestrategieën voor de generalisatie van ruimtelijke gegevens. Daarbij werd uitgegaan van objecten die direct aan elkaar grenzen, zie **10.1.3**. Dit is vaak een te strenge eis. Deze kan flexibeler gemaakt worden als de geometrische beschrijving van een gekarteerd gebied wordt aangevuld met een Delaunay Triangulation Netwerk (DTN), zoals het rechter deel van in *Fig. A5.* Het netwerk kan zo geconstrueerd worden dat rekening wordt gehouden met de geometrie van de aanwezige objecten, dan krijgt men een "Constrained DTN", kortweg CDTN.

Peng Wanning werkte deze benadering uit. Hij was medewerker van het Guangdong Scientific Research Institute of Lands, Surveying and Mapping in China en had een MSc-graad behaald aan het ITC. Hij ging uit van de FDS en vulde de geometrie aan met een CDTN en noemde dat de Extended FDS, kortweg EFDS. Op basis van vorm en grootte van driehoeken die dicht bij elkaar gelegen objecten verbonden, definieerde hij een "Nabijheidsrelatie". Deze was

[43] De basisvoorwaarde van een DNT is dat de omschreven cirkel van iedere driehoek geen andere punten omvat dan die van de eigen driehoek.

flexibeler dan de buurrelatie van de FDS. Als twee of meer objecten dicht bij elkaar lagen, konden die als cluster geaggregeerd worden. Dit was een interessante uitbreiding van de mogelijkheden voor database-generalisatie. Daarnaast ontwikkelde hij methodes om de thematische beschrijving van geaggregeerde objecten in de vorm van aangepaste klassen en attributen, af te leiden uit die van oorspronkelijke objecten. Doormiddel van stuurparameters kon de gebruiker het generalisatieproces naar eigen wens laten verlopen. Na voltooiing van zijn proefschrift (Peng, 1997) ging Dr. Peng, net als zijn vriend Pilouk, werken bij ESRI in Californië, USA.

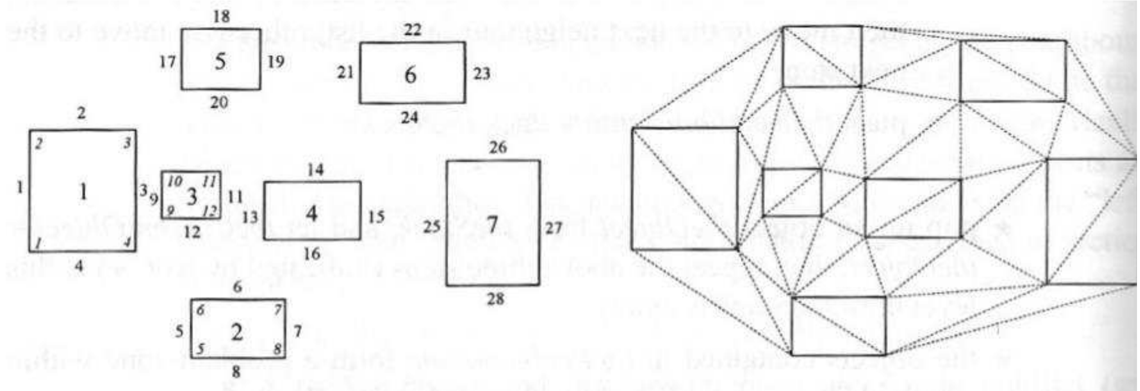


Fig. A5: Objecten (links) verbonden in een CDTN (rechts) (Peng, 1997)

Liu Yaolin vervolgde dit onderzoek. Hij had een MSc-graad van de China University for Geo-Sciences. Na zijn studie werd hij medewerker van de afdeling Cartografie van Wuhan Technical University of Surveying and Mapping, WTUSM. Hij gebruikte de op de EFDS gebaseerde aggregatiemethodes van Peng. Daarmee transformeerde hij langwerpige smalle vlakobjecten tot lijnobjecten en kleine vlakobjecten tot puntobjecten. Dit alles met behoud van topologische consistentie.

Hij kon het generalisatieproces sturen door het instellen van eindtermen. Deze betroffen onder andere: de minimale omvang van vlakobjecten per thematische klasse; de gewenste maximale objectdichtheid per klasse; de mate van belang van objectklassen. Deze regels bepaalden of individuele objecten al of niet werden weergegeven. Hij definieerde ook een maat voor de vergelijkbaarheid van klassen. Daarmee werd besloten om vergelijkbare klassen al of niet samen te voegen. Verder was het mogelijk om vóór de omzetting van een database eerst vast testellen welke objectklassen gegenereerd moeten worden en met welke attribuutstructuren.

Na voltooiing van zijn proefschrift (Liu, 2002) ging Dr. Liu terug naar Wuhan. Daar was inmiddels WTUSM met een aantal andere universiteiten samengevoegd tot Wuhan University. Liu werd daar hoogleraar en Decaan van School of Resources and Environment. Hij heeft naast andere onderwerpen ook het onderzoek van zijn dissertatie daar voortgezet.

Zhang Xiang had een MSc-graad van WTUSM in China en kwam daarna als PhD-kandidaat naar het ITC. Hij deed een onderzoek waarin hij een raamwerk ontwikkelde voor het stellen van criteria voor de beoordeling van de resultaten van kaartgeneralisatie. Hij was daarbij vooral gericht op de beoordeling van het gerealiseerde kaartbeeld. Zijn resultaten betroffen de dichtheid en patronen van klassen van individuele objecten zoals gebouwen. Zijn criteria kwamen deels overeen met die van de eerdergenoemde onderzoeken op dit gebied (Zhang, 2012). Zijn technieken waren ook gebaseerd op DCTN’s zoals in *Fig. A5.* Na zijn promotie

werd hij docent aan Wuhan University en later aan de Sun Yat-Sen University in Guangdong in China.

A5.3 Het gebruik van RS voor ruimtelijke inventarisaties

Hoewel bij mijn aantreden in Wageningen de remote sensing met behulp van satellieten al ruim tien jaar beschikbaar was voor civiel gebruik, was die voor een belangrijk deel toch nog steeds in een exploratieve fase. Met de toename van het gebruik, kwamen er meer en meer vragen over verdere nieuwe gebruiksmogelijkheden. Er kwamen vragen vanuit andere disciplines en vanuit verschillende sectoren in de maatschappij om daar onderzoek naar te doen. Voor mijn aantreden waren bij de vakgroep Landmeetkunde al twee promotieprojecten opgestart (Molenaar en Loedeman, 2022).

Dik Hoekman bezette één plek. Hij onderzocht de toepassingsmogelijkheden van radar-remotesensing voor het karteren en monitoren van bossen. Dit onderzoek gebeurde in samenwerking met het Microgolf-laboratorium van Prof. Leo Krul van de TH Delft. Hoekman was een student van Prof. Krul. De Delftse groep had een werkgroep Radar Onderzoek voor Vegetatie (ROVE) opgericht. Die verzamelde en verwerkte radar-data en veldwaarnemingen van bosgebieden in Nederland. Met financiële ondersteuning van het Ministerie van OCW en de BCRS werden radarvluchten uitgevoerd. De verwerking van de opnamen werd verzorgd door het NLR[44]. Later werd met ESA en NASA nog veldwerk in het Amazonegebied georganiseerd. Hoekman ontwikkelde technieken om uit radaropnamen informatie af te leiden over de verticale en horizontale structuur van bosopstanden (Hoekman, 1990). Na zijn promotie startte hij in samenwerking met de LUW een eigen bedrijf, dat zijn technieken verder ontwikkelde en operationeel maakte voor grote projecten in Europa en overzee.

Jan Clevers een Wageningse plantenteler, bezette de andere plek. Hij onderzocht het gebruik van multi-spectrale (MS) waarnemingen vanuit de lucht voor het monitoren van veldproeven met gewassen. De vraag was of RS-technieken de destructieve veldwaarnemingen door tussenoogsten van planten konden vervangen. Het onderzoek werd geconcentreerd op de Minderhouthoeve, de proefboerderij van de LH in de Flevopolder. Clevers werd echter gehuisvest bij de vakgroep Landmeetkunde, die de technische ondersteuning verzorgde. Vluchten met elektronische MS scanners (MSS) waren te kostbaar, daarom financierde de LH faciliteiten voor luchtfotografie bij Landmeetkunde. Dat was een betaalbare oplossing, die vanuit onderzoekstechnisch oogpunt gelijkwaardig bleek aan de toenmalige mogelijkheden voor MSS-opnamen. Clevers toonde aan dat zijn methodiek nauwkeurigere resultaten gaf dan de traditionele veldproeven (Clevers, 1986). Dr Clevers bleef na zijn promotie bij mijn vakgroep werken als universitair docent, later universitair hoofddocent.

Wout Verhoef was een van de mannen van het eerste uur bij het Nederlandse RS-onderzoek. In 1973 werd hij lid van de onder penvoerderschap van het ITC nieuw opgerichte NIWARS, zie (Molenaar en Loedeman, 2022). Later zou hij dit werk voortzetten bij het NLR. Vanaf 1973 heeft hij gewerkt aan de modellering van het transport van elektromagnetische straling door de atmosfeer en het vegetatiedek. In 1983 publiceerde hij zijn SAIL-model (Scattering by Arbitrarily Inclined Leaves). Deze publicatie werd uitzonderlijk veel geciteerd en vele onderzoekers gebruikten het, waaronder Clevers, Janssen en Van Leeuwen in mijn groep.

[44] Nederlands Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium

Hoewel hij lange tijd afhoudend was, konden zijn vroegere begeleider Nico Bunnik en ik hem uiteindelijk overhalen om zijn onderzoek voort te zetten voor een promotie. Hij promoveerde uiteindelijk op een verbetering en uitbreiding van zijn model (Verhoef, 1998). De resultaten werden onmiddellijk opgepakt door promovendi binnen en buiten mijn groep. Dr Verhoef is later hoogleraar geworden aan het ITC.

Gerrit Epema was als fysisch geograaf afgestudeerd aan de Universiteit van Utrecht (UU) en werkte daarna als docent bij de afdeling Bodemkunde van de de WU. Zijn onderzoek betrof de inzet van de Landsat Thematic Mapper (TM) beelden voor het karteren van woestijnachtige gebieden. In zijn veldwerkgebied in Tunesië deed hij metingen met een veldspectrometer om de spectrale karakteristieken van verschillende terreinkenmerken vast te leggen. Deze gegevens vergeleek hij met TM data, die voor atmosferisch invloeden gecorrigeerd waren met het model van Verhoef. Zijn resultaten toonden aan dat TM data geschikt waren voor de kartering van woestijngebieden en dat ze de veldmetingen en het gebruik van luchtfoto's grotendeels konden ondervangen (Epema, 1992). Dr. Epema bleef na zijn promotie aan de WU verbonden.

Het RIVM wilde graag inzicht krijgen in de milieu-effecten van de landbouw op Europese schaal. Daarvoor werden twee promotieprojecten gestart, één bij Universiteit van Utrecht en één bij mijn groep in Wageningen. *Elisabeth Addink*, een fysisch geografe uit Utrecht, deed het Wageningse onderzoek. Zij onderzocht de gebruiksmogelijkheden van tijdseries van NOAA-AVHRR beelden voor het bepalen van die milieu-effecten en de ontwikkeling daarvan in de tijd. Een vraag was daarbij welke ruimtelijke eenheden geschikt waren voor zo'n inventarisatie. Binnen de EU worden inventarisaties meestal gedaan op basis van NUTS[45]. Maar die bleken ongeschikt voor de inventarisatie van agrarisch landgebruik met satellieten. Geologische eenheden bleken daar wel geschikt voor. Verder vormden wolken een storend element, Addink ontwikkelde daarvoor een op geo-statistiek gebaseerde methode om dat te ondervangen. Toch bleken de NOAA-beelden niet geschikt voor de gewenste milieu-inventarisatie. Ze toonde echter met simulatieberekeningen aan dat van de, toen nog, toekomstige, MERIS-beelden meer te verwachten was (Addink, 2002). Dr Addink werd later universitair hoofddocent aan de Universiteit Utrecht.

Marlies Sanders is een Wagenings biologe. Na haar studie deed ze bij het Wageningse Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek een verkenning van de gebruiksmogelijkheden van GIS en RS voor het monitoren van moerassige natuurgebieden, met name de Weerribben. Haar waarnemingen waren vooral gebaseerd op false-colour infrarood luchtfoto's, ondersteund met veldwaarnemingen. De luchtfoto's werden analoog geïnterpreteerd om ze te stratificeren. Bovendien werden ze gescand zodat uit digitale beelden binnen spectrale informatie verkregen werd over vegetatiekenmerken van de geïdentificeerde strata. De hydrologische structuur van het gebied werd in een GIS verwerkt, zodat de hydrologische isolatie van de strata kon worden bepaald. De daaruit afgeleide milieufactoren toonden een goede correlatie met de spreiding van zeldzame soorten. Uit dit onderzoek bleek dat de combinatie van GIS en RS het veldwerk van vegetatiekarteerders aanzienlijk versterkte (Sanders, 1999). Dr. Sanders is na voltooiing van haar proefschrift doorgegaan als onderzoeker en werkt nu (2023) bij een onderzoeksorganisatie voor Natuur&Milieu in Wageningen.

---

45 Nomenclature Utilisée Territorial Statistique

A5.4 De rol van geo-informatie bij de RS-beeldinterpretatie

Objectgegevens en beeldinterpretatie

Het project van Elisabeth Addink toonde al aan dat informatie over goed gekozen ruimtelijke eenheden, in haar geval geologisch eenheden, de beeldinterpretatie aanzienlijk konden ondersteunen. Ook in **8.2** en **10.2** werden al wat voorbeelden genoemd van promotieprojecten waarin werd onderzocht hoe ruimtelijke informatie uit remote sensing gegevens afgeleid kan worden en hoe omgekeerd ruimtelijke informatie dat extractieproces kan ondersteunen. In de projecten van Lucas Janssen en Hans van Leeuwen werd informatie over landbouwpercelen gebruikt om de nauwkeurigheid van de beeldklassificatie te verbeteren, het ging daarbij om de identificatie van landbouwgewassen. De geometrie van percelen werd vooral uit beschikbare kaarten gehaald, maar die werd aangevuld met grenzen afgeleid uit de beelden. In veel landen binnen en buiten Europa is er echter helemaal geen geschikt kaartmateriaal beschikbaar, zodat men voor zowel de geometrische als de spectrale informatie afhankelijk is van rs-beelden.

Ron Schoenmakers pakte dit probleem aan. Hij ging na zijn studie in Nijmegen op basis van een PhD-beurs werken bij Joint research Centre van de EU in ISPRA. In zijn onderzoek in het kader van het MARS-project van de EU, werd een methodiek ontwikkeld voor beeldsegmentatie. Daarbij werd zowel geometrische als thematische informatie uit beelden afgeleid (Schoenmakers, 1995). In zijn benadering combineerde hij technieken voor randdetectie en region growing om geometrisch scherp omgrensde beeldsegmenten te identificeren en te classificeren. In landbouwgebieden met regelmatige, ongeveer rechthoekige, percelen toonden de segmenten een goede overeenkomst met die landbouwpercelen. Zijn promotieonderzoek werd begeleid door prof. dr. Jan Vytopil. Schoenmakers had veel contacten met mijn promovendi, daarom werd ik als tweede promotor gevraagd. Het project had een zeer dramatische afloop. Ron verongelukte na het afronden van het proefschrift, twee weken voor zijn promotie. De doctorsgraad werd hem postuum verleend.

Hans van Leeuwen was in Wageningen afgestudeerd als bodemkundige en had zich daarbij gespecialiseerd in de radar-remotesensing. Tijdens zijn studie had hij een stage gedaan bij de groep van prof. Krul in Delft. Dat maakte hem een geschikte kandidaat om een aantal bovengenoemde onderzoekslijnen bij elkaar te brengen. Zijn opdracht was om een methodiek te ontwikkelen voor gewasmonitoring, gebaseerd op de rs-data in zowel het optische- als het radarbereik. Hij ging uit van een object-georiënteerde benadering. Voor de identificatie van landbouwpercelen greep hij terug op de technieken van zowel Janssen als Schoenmakers. Voor het bepalen van gewaskenmerken maakte hij gebruik van de methodes van Clevers, Hoekman en Verhoef. Voor het toetsen van zijn methodiek richtte hij zich op de teelt van suikerbieten (Leeuwen, 1996). Na zijn promotie stichtte hij met vrienden een bedrijf gericht op het gebruik van rs-informatie. Later werd hij als zelfstandig consultant actief bij de ontwikkeling van GIS-RS projecten voor de publieke sector in Nederland en overzee.

De rol van object-hiërarchieën

Aan de hand van het proefschrift van Jeroen Huising werd in **10.2** geïllustreerd hoe objecthiërarchieën een rol kunnen spelen bij de RS-beeldinterpretatie. Bij Huising ging het om de inventarisatie en monitoring van landgebruik. Het promotieonderzoek van *Wim Droesen* betrof een vergelijkbaar probleem, maar het vertoonde ook overeenkomsten met het onderzoek van Cheng Tao, zie **10.3.** Hij had "Land en Waterbeheer" gestudeerd aan de WU. Zijn promotieproject werd gefinancierd door het waterleidingbedrijf van Amsterdam en het werd

mede begeleid door de afdeling Fysische Geografie van de UvA. Hij ontwikkelde een methodiek voor het karteren en monitoren van duinvegetatie. Uit kleuren-infrarood foto's van het gebied, opgenomen in 1990 en 1995, werden orthofoto's gemaakt met een resolutie van 0.25 cm. Daarop werden duinvegetatieklassen gekarteerd, in een classificatiehiërarchie met van de top naar beneden steeds gedetailleerdere klassen. De algemenere klassen aan de top waren tamelijk scherp te onderscheiden, voor die klassen werden scherp begrensde ruimtelijke eenheden in het terrein geïdentificeerd, vgl. **10.3**. De meer gespecialiseerde klassen, dieper in de hiërarchie, waren moeilijker te onderscheiden, daarom ging Droesen over op *fuzzy* classificatie. Onder die klassen vallende ruimtelijke eenheden werden ook kleiner en hadden vage grenzen. Daarom werd op dit niveau de variabiliteit binnen de eerder geïdentificeerde scherp begrensde ruimtelijke eenheden, als veld beschreven. Dus de vegetatie klassen op dat niveau werden als positie-afhankelijk beschreven. Zo kwam Droesen tot de hybride situatie van **11.2-iii.** Voor deze complexe situatie ontwikkelde hij een methodiek om de veranderingen van vegetatie tussen de twee opnamen te schatten (Droesen, 1999), zie ook **10.3** en **11.2-iv**. Bij het schrijven van deze monografie kwam ik erachter dat Wim na een interessante loopbaan, eerder dit jaar (2023) was overleden.

Zhan Quingming had een MSc-graad van WTUSM en was daar docent aan de school voor "Urban Studies", die mede door het ITC was opgezet. In het kader van die samenwerking kreeg hij een PhD-beurs van het ministerie van Buitenlandse Zaken. Hij onderzocht hoe men stedelijke gebieden kon karteren en monitoren met behulp van LIDAR (laser-hoogtemetingen) en hoge resolutie satellietbeelden. De gemeente Amsterdam stelde gegevens beschikbaar over een deel van Amsterdam Zuid. Hij ontwikkelde een hiërarchische methode. Pixels werden op basis van hun spectrale kenmerken ingedeeld in landbedekkingsklassen. Daarna werden ze geaggregeerd tot ruimtelijke eenheden per landbedekkingsklasse, en die eenheden werden weer geaggregeerd tot eenheden met herkenbare landgebruiksklassen. Zhan maakte daarna gebruik van DTN's om topologische en geometrische relaties te analyseren tussen ruimtelijke eenheden met overeenkomstige bedekking. De zo gevonden patronen waren medebepalend voor het identificeren van stedelijke landgebruiksklassen. Zijn methodiek gaf in het proefgebied zeer nauwkeurige resultaten (Zhan, 2003). Na zijn promotie werd Zhan hoogleraar aan Wuhan University.

Marion Obbink was een Tropische Bosbouwer uit Wageningen. Na haar studie werkte ze voor FAO als deskundige bij het National Forrestry Inventory project in Indonesië. Haar veldwerk in Kalimantan gaf haar het inzicht dat nieuwe op RS-beelden gebaseerde methodes nodig waren voor de inventarisatie van landgebruiksontwikkelingen. Die ontwikkelingen ging ten koste van natuurlijke regenwouden. In haar methodiek wordt uit de spectrale gegevens van RS-beelden per pixel de bodembedekking afgeleid. Daarna werden uit onderling aangrenzende beeldelementen met gelijke bedekking ruimtelijke segmenten gevormd. Deze segmenten worden op basis van thematische en geometrisch-topologische regels geaggregeerd tot eenheden met kenmerkende samenstellingen van landgebruik, Land Cover Mosaïcs (LCM). De LCM-klassen in combinatie met geometrische en topologische kenmerken zoals de grootte, vorm en relatieve ligging van de ruimtelijke eenheden, vormden relevante informatie voor het beheer van gebieden met natuurlijke regenwouden. Zo werden dus de spectrale rs-gegevens via een semantisch omzetting vertaald naar bruikbare informatie voor het landschapsbeheer. Tijdens haar promotieonderzoek leed Marion aan een snelle achteruitgang van haar

gezichtsvermogen, die dwong haar om na de promotie een andere richting op te gaan. Zij begeleidt nu organisaties bij veranderingsmanagement in de sector bouw, milieu en klimaat.

A5.5 Ruimtelijke onzekerheid

In **10.3** werd beschreven hoe thematische onzekerheden doorwerken in de ruimtelijke identificatie van objecten, het gaat daarbij om zowel de extensionele als de existentiële onzekerheid. In een aantal proefschriften werd deze problematiek van verschillende kanten verkend.

Geodeten zijn zich er vanouds her van bewust dat hun meetgegevens een stochastisch karakter hebben. Met de opkomst van geo-informatiesystemen kwam de vraag op, hoe die stochastiek doorwerkte op ruimtelijke relaties tussen gekarteerde terreinobjecten. Bij de leerstoel van Prof. Wolfgang Förstner in Bonn werd door Dipl. Ing. *Stephan Winter* een onderzoek gedaan naar de onzekerheidsaspecten van ruimtelijke, topologische, relaties tussen dergelijke objecten (Winter, 1996). Ik werd als medebegeleider bij dit project betrokken. Dr. Winter is later hoogleraar geworden in Melbourne, Australië.

Nana Suryana had een MSc-graad als bodemkundige van de Padjadjaran Universiteit van Bandung. Daarna werkte hij als bodemkundige op Kalimantan. In 1985 behaalde hij een MSc-graad aan het ITC. Daarna werkte hij voor het “Land Rehabilitation and Soil Conservation Programme” in Indonesië. In 1991 begon hij aan zijn onderzoek naar de gebruiksmogelijkheden van GIS voor het karteren van erosiegevoeligheid van landschappen. Hij identificeerde karteereenheden, thematic mapping units (TMU), op basis van fysiografische kenmerken, type bodembedekking en landgebruik. Dit bleken stabiele ruimtelijke eenheden waarvoor terreinkenmerken werden vastgelegd. Op basis daarvan werden risico’s ingeschat van het voorkomen van bepaalde soorten erosie en de ernst daarvan. Deze risico-inschatting kende een hoge mate van onzekerheid, die in ruimtelijke presentaties moest worden weergegeven. Daarbij werd gezocht naar een bruikbare vorm van weergave voor het bepalen van geschikte vormen van landgebruik. Na voltooiing van zijn proefschrift (Suryana, 1997) werd Suryana Hoogleraar in GIS aan de Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Malaysia.

Ben Gorte kwam na zijn studie “Wiskunde” aan de UT in 1980 werken bij het ITC, waar hij universitair docent werd. Zijn hoofdtaak was de software- en methodiekontwikkeling voor de verwerking van rs-beelden. Dit werk leidde tot de vraagstelling die hij in zijn proefschrift behandelde (Gorte, 1998). Zijn onderzoek sloot aan op het werk van Schoenmakers (Schoenmakers, 1995). Waar Suryana uitging van stabiele ruimtelijke eenheden met onzekere thematische kenmerken, behandelde Gorte het probleem waarbij de bepaling van de extensie van ruimtelijke objecten afhing van de bepaling van de thematische kenmerken. Hij ontwikkelde een op *quadtrees* gebaseerde segmentatiemethodiek waarbij hij vanuit beeldsegmenten op een laag niveau geaggregeerde elementen op een hoger niveau creëerde. Daarbij onderzocht hij of met de stap omhoog de nauwkeurig van de bepaling van de bedekkingsklasse van elementen toe- of afnam. De statische kenmerken van de voorkomende klassen werden daarbij per segment bepaald, dus een gestratificeerde benadering in plaats van de gebruikelijke bepaling over het hele beeld. Door in de boom, *quadtree*, op en neer te gaan kon hij dan het niveau vaststellen dat de beste classificatienauwkeurigheid gaf. Die kon per combinatie van segment en klasse bepaald worden. De methodiek van Gorte bleek aanzienlijk betere resultaten te geven dan de gangbare segmentatie- en classificatiemethoden. Bovendien garandeerde die methode dat het resultaat een TG-partitie vormde. Na zijn promotie werd Ben

Gorte universitair docent aan de TUDelft, later werd hij “research associate” van de University of New South Wales in Sydney.

Sytze de Bruin is een Wagenings bodemkundige. In zijn dissertatie (Bruin, 2000) onderzoekt hij methodes om de onzekerheid van ruimtelijke objecten te modelleren. Zijn studie betreft het eerdergenoemde veldwerk gebied in Álora in Spanje, een heuvelachtig gebied met veel landbouw. Hij onderzoekt de samenhang tussen landgebruik, geologie en reliëf. Het uitgangspunt daarbij is een landschapsbeschrijving die voldoet aan een TG-partitie. Maar omdat het objecten met extensionele onzekerheid betreft, voerde hij de term “pseudo partitie” in. Bij de interpretatie van RS-beelden paste hij de methodiek van Gorte toe met een gestratificeerde bepaling van de statistische kenmerken van bedekkingsklassen. Dat gaf inderdaad een betere classificatienauwkeurigheid. Verder ontwikkelde hij een op de geostatistiek gebaseerde methode om de extensionele onzekerheid van ruimtelijke objecten te bepalen. Hierbij raakte hij aan het in **11.2-iii** genoemde probleem, waarbij ruimtelijke objecten als *fuzzy* veld werden beschreven. Hij gebruikte deze benaderingen om veranderingen in het terrein te monitoren. Hij toonde daarbij aan dat de evaluatie daarvan met een onzekerheidsbenadering flexibeler en relevanter was dan de gebruikelijke benadering waarbij deze onzekerheidsaspecten niet gehanteerd werden. De Bruin is na zijn promotie als Universitair Hoofddocent bij de Wageningse vakgroep blijven werken.

Annex 6: Enkele feiten over het ITC

De namen van ITC door de jaren heen:

- Bij de oprichting in 1950 werd de naam: *International Training Centre for Aerial Survey*, kort weg *ITC,* ingevoerd. Het instituut was er in essentie op gericht om professionals uit met name ontwikkelingslanden te trainen in het gebruik van luchtopnames, vooral luchtfoto's.
- In 1966 kreeg de instelling na een aantal bestuurlijke aanpassingen, een academische status. De naam werd toen aangepast tot: *The International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC).* De aardwetenschappen werden aan de naam toegevoegd omdat die met behulp van luchtopnamen werden bestudeerd. De roepnaam *ITC* bleef gehandhaafd.
- In 1985 werd de naam weer aangepast: *The International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).* Hiermee werd aangegeven dat het instituut nu ook gebruik maakte van de nieuwe technieken voor aardobservatie vanuit de ruimte.
- In 2001 werd de naam nogmaals veranderd in: The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC). Het aandachtsveld zou zich voortaan concentreren op de ontwikkeling en toepassing van op de combinatie van geo-informatie en aardobservatie gebaseerde methodes voor het monitoren en beheren van processen op het aardoppervlak. Hierbij werden de toepassingsdisciplines niet langer expliciet genoemd, omdat de thema's waarvoor de informatie werd ingezet zich snel ontwikkelden en uitbreidden.
- In 2010 werd het instituut geïntegreerd in de Universiteit Twente, daarbij werd in de naam "The International Institute" vervangen door "Faculty"

Wetenschappelijke afdelingen:

De academisch structuur van het ITC werd bij overdracht aan de UT gedragen door ca 15 leerstoelen, verdeeld over zes wetenschappelijke afdelingen. Deze afdelingen werkten allemaal op het centrale thema van het instituut, maar richtten zich daarbij vooral op het gebruik van de technologie in verschillende disciplinaire velden. De afdelingen hadden de titels:

- Earth Observation Sciences
- Earth Systems Analysis
- Geo-information Processes
- Natural Resources
- Urban and Regional Planning and Geo-Information Management
- Water Resources

Onderzoek:

Deze afdelingen droegen gezamenlijk bij aan een overkoepelend onderzoeksprogramma onder titel *Geo-Information Science and Earth Observation,* met de subthema's:

- *food security, water management and the environment*
- *natural disaster management*

- *strengthening of civil society*
- *global change*
- *multifunctional use of space*

Onderwijs:

De afdelingen verzorgden ook een gezamenlijk MSc-programma met de titel *Geo-Information Science and Earth Observation,* en met de volgende specialisaties:

- *Applied Earth Sciences,*
- *Geo-informatics,*
- *Governance and Spatial Information Management,*
- *Land Administration,*
- *Natural Resources Management,*
- *Urban Planning and Management,*
- *Water Resources and Environmental Management.*

Opleidingsniveaus:

- De opleiding voor Master of Science (MSc)-graad duurde 18 maanden,
- Voor de specialisatie *Geo-informatics"* was er een opleiding van 12 maanden die leidde tot de (Professional) Master-graad,
- Voor verschillende specialisaties kon een opleiding van 9-maanden gevolgd worden voor een Postgraduate Diploma (PGD),
- Door de modulaire opbouw van het onderwijs konden korte cursussen gevolgd worden voor een Certificaat (3 weken - 3 maanden)

Voor meer informatie over het ITC zie (Disco, 2010)

Annex 7: Intentieverklaring UT en ITC

Intentieverklaring
De Universiteit Twente (UT), gevestigd te Enschede, in deze vertegenwoordigd door Dr. A.H. Flierman, voorzitter College van Bestuur, verder te noemen UT,

en

Het International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), gevestigd te Enschede, in deze vertegenwoordigd door Prof.dr.ir. M. Molenaar, voorzitter van het Bestuur, verder te noemen ITC,

Overwegende,

- dat de UT en het ITC een meerwaarde zien in intensieve samenwerking met betrekking tot onderwijs, onderzoek, projecten, advisering en infrastructuur en dit beleidsmatig ook ondersteunen;
- dat het ITC volwaardig deel wil gaan uitmaken van de Nederlandse academische gemeenschap en zou willen profiteren van het academische en bestuurlijke netwerk van de UT;
- dat de UT haar positie in het veld van Nederlandse universiteiten zou willen versterken met het ITC;
- dat het internationale netwerk van het ITC openingen kan bieden voor een nieuwe onderwijs- en onderzoekmarkt voor de UT;
- dat door de Minister van OCW voorgenomen wijzigingen in de financiering van het ITC noodzaken tot een herbezinning op de bestuurlijke relatie tussen UT en ITC;

spreken het ITC en de UT hierbij de intentie uit om te komen tot een bestuurlijke en inhoudelijke inbedding van het ITC in de UT. In de gezamenlijke notitie "Samenwerking UT-ITC" is deze keuze nader onderbouwd.

Randvoorwaarden van het inbeddingsproces
De randvoorwaarden zijn verbonden met:

- de doelstellingen van ITC en UT en de bestuurlijke vormgeving van de samenwerking
- externe financiële kaders: condities OCW
- interne financiële kaders: verhouding UT-ITC
- intern draagvlak bij ITC en UT

Algemene randvoorwaarden

1. OCW en UT erkennen en respecteren de ODA-missie van het ITC zoals vastgelegd in de statuten van het ITC. Daarin staat capacity-building centraal en is onderwijs geen doel maar middel.
2. De UT erkent de positie die het ITC op de internationale onderwijsmarkt heeft opgebouwd en respecteert de merknaam ITC.
3. Voor de uitvoering van zijn missie heeft het ITC samenwerking gezocht met verschillende universiteiten en internationale onderwijsinstellingen in Nederland. De UT respecteert de opgebouwde samenwerkingsrelaties.
4. Het ITC waarborgt de interne- en externe kwaliteit van onderwijs en onderzoek conform de academische standaard van de UT.
5. Het ITC stelt de UT in staat om voor onderwijs en onderzoek gebruik te maken van het internationale netwerk van het ITC.
6. Door middel van zijn contacten in het wetenschappelijk onderwijs ondersteunt de UT het ITC bij het versterken van zijn academische positie in Nederland.

7. UT en ITC zijn in staat een bestuurlijk model voor inbedding te vinden dat transparant is zowel m.b.t. besluitvorming als middelenstromen en dat tevens inhoudelijke samenwerking tussen ITC en andere UT instituten/faculteiten faciliteert.
8. Vanuit het perspectief van risicobeheersing door de UT en de verantwoordingsrelatie van de UT richting OCW acht de UT het noodzakelijk dat zij, in het kader van de samenwerking met het ITC en met respect voor de missie van het ITC, haar bestuurlijke en financiële verantwoordelijkheid voor het ITC kan waarmaken.
9. Welke juridische en bestuurlijke vorm de rechtsopvolger van het huidige ITC vanaf 1-9-2008 zal krijgen is nog open en zal nader worden verkend. Zowel de optie van een aparte rechtspersoon voor het ITC als integratie van het ITC in de rechtspersoon UT door middel van een nieuw type bestuurlijke entiteit (figuur sui generis) zal worden onderzocht. In beide opties wordt aandacht besteed aan de wijze waarop het juridisch eigendom van het ITC het beste kan worden geregeld (bijvoorbeeld door middel van een waarborgfonds).

Randvoorwaarden: Externe financiële kaders

10. De financiering van de ITC taken dient te worden gewaarborgd door OCW zowel voor de middellange als de lange termijn. Dit kan door middel van een door OCW geïndexeerde vaste onderwijsopslag gebaseerd op de omvang van de huidige subsidie (begrotingsjaar 2007) aan het ITC.
11. Er dient vanuit OCW voldoende bestedingsvrijheid te zijn om bestaande ITC-activiteiten op het terrein van onderwijs, onderzoek en projecten voort te zetten en om nieuwe initiatieven (individueel of gezamenlijk) op deze terreinen op te kunnen starten.

Randvoorwaarden: Interne financiële kaders

12. Tot 1-1-2008 gelden de bestaande afspraken tussen OCW, UT en ITC omtrent de financiering van het ITC. Deze maken deel uit van de penvoerdersovereenkomst tussen UT en ITC. Dit betekent dat er een lump-sum bedrag van ruim 21,86 miljoen euro ten bate van het ITC wordt opgenomen in de jaarlijkse rijksbijdrage aan de UT. De rijksbijdrage aan UT wordt door OCW in maandelijkse termijnen overgemaakt aan de UT. Het ITC-deel wordt elke maand direct na binnenkomst bij de UT overgemaakt aan het ITC.
13. Vanaf 1-1-2008 wordt de bijdrage voor het ITC geïntegreerd in de onderwijsopslag en de strategische overwegingencomponent van de rijksbijdrage van de UT met dien verstande dat het geoormerkt wordt als ODA-uitgave. Van 1-1-2008 tot 1-9-2008 wordt het voor het ITC bedoelde bedrag in zijn geheel gereserveerd en ter beschikking gesteld aan het ITC in zijn huidige bestuurlijke vorm (stichting ITC). In deze periode blijft de huidige penvoerdersovereenkomst van kracht.
14. Na 1-9-2008 is een nieuwe bestuurlijke relatie tussen UT en ITC operationeel. Afhankelijk van de precieze invulling van de nieuwe bestuurlijke relatie (zie ook punt 8) zullen de interne financiële kaders voor de periode na 1-9-2008 opnieuw worden bezien en zonodig worden geherformuleerd.

Randvoorwaarde: Intern draagvlak

15. Zonder betrokkenheid en medewerking van de staf van ITC en UT wordt de inbedding een moeizame operatie. De besturen van UT en ITC zullen tijdig de relevante organen consulteren en betrekken bij het inbeddingsproces. UT en ITC zullen zich inzetten voor maximale medewerking van alle betrokkenen.

ITC en UT spreken de volgende stappen af in het bestuurlijk proces om te komen tot inbedding van het ITC in de UT:

a) ITC en UT onderzoeken gezamenlijk welke bestuurlijke relatie het meest wenselijk is en hoe deze juridisch zal worden vormgegeven. Het onderzoek besteedt in elk geval

aandacht aan de vraag wat de voor- en nadelen zijn van een zelfstandige rechtspersoon voor het ITC versus een opgaan van het ITC in de rechtspersoon UT. Succesvolle afronding van deze fase is een voorwaarde voor de start van fase b.

b) Vervolgens zal worden onderzocht voor welke soorten activiteiten (onderwijs, onderzoek, projecten, diensten) en met betrekking tot welke onderwerpen samenwerking tussen ITC en UT vruchtbaar zou kunnen zijn. Zoveel mogelijk aspecten van samenwerking zullen hierin worden meegenomen zowel wat betreft de primaire processen (onderwijs, onderzoek, projecten) als de ondersteuning van die processen (waaronder financiën, personeelszaken, facilitaire diensten, ICT w.o. ICT-architectuur, bibliotheek, onderwijskundige ondersteuning, studentenbegeleiding en studentenregistratie). Per activiteit zal een globale kostenraming en planning worden gemaakt. Een inbeddingsovereenkomst regelt vervolgens welke middelen (aard en omvang) van UT en ITC worden ingezet voor deze activiteiten, beschrijft de taken en bevoegdheden van betrokkenen en bevat een implementatieplanning. Ook zullen afspraken gemaakt worden over de verrekening van het gebruik van ondersteunende diensten en infrastructuur van UT en ITC. Deze fase zal worden afgerond voor 1 juni 2007. Op dit moment beslissen partijen over de voortzetting of beëindiging van de penvoerdersovereenkomst met inachtneming van de bepalingen die in bedoelde overeenkomst zijn opgenomen.

c) Vanaf juni 2007 wordt de implementatie van de afspraken ter hand genomen. De nieuwe bestuurlijke constellatie moet per september 2008 operationeel zijn.

Ondertekening geschiedt onder voorbehoud van goedkeuring door alle bevoegde gremia.

Enschede, 28 september 2006

....	....
Prof.dr.ir. M. Molenaar	Dr. A.H. Flierman
Voorzitter van het Bestuur	Voorzitter College van Bestuur
International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC)	Universiteit Twente (UT)